

EDITORES

Lisiane Ilha Librelotto, Dra. (UFSC)
Paulo Cesar Machado Ferroli, Dr. (UFSC)

CONSELHO EDITORIAL

Aguinaldo dos Santos, UFPR
Amilton José Vieira de Arruda, UFPE
Carlo Franzato, UNISINOS
Helena Maria Coelho da Rocha Terreiro Galha Bártolo, IPL (Portugal)
José Manuel Couceiro Barosa Correia Frade, IPL (Portugal)
Jorge Lino Alves, UP - INEGI (Portugal)
Laia Haurie Ibarra – UPC (Espanha)
Lisiane Ilha Librelotto, UFSC
Miguel Aloysio Sattler, UFRGS
Paulo Cesar Machado Ferroli, UFSC
Rachel Faverzani Magnago, UNISUL
Roberto Bologna, UniFI (Itália)
Tomás Queiroz Ferreira Barata, UNESP
Vicente de Paulo Santos Cerqueira, UFRJ

EDITORES DE SEÇÃO:

ARQUITETURA E URBANISMO

Laia Haurie Ibarra – UPC – Universitat Politècnica de Catalunya, Espanha
Lisiane Ilha Librelotto – UFSC – UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, Brasil
Roberto Bologna, UniFI - UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE, Itália
Tomás Queiroz Ferreira Barata – FAU USP – UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, Brasil

DESIGN

Amilton José Vieira de Arruda Santos – UFPE – UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO, Brasil
Carlo Franzato – UNISINOS – UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS, Brasil
Jorge Lino Alves – UP-INEGI – UNIVERSIDADE DO PORTO, Portugal
Paulo Cesar Machado Ferroli – UFSC – UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, Brasil
Vicente de Paulo Santos Cerqueira – UERJ – UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, Brasil

ENGENHARIAS

Aguinaldo dos Santos – UFPR – UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, Brasil
Helena Maria Coelho da Rocha Terreiro Galha Bártolo – IPLeiria – INSTITUTO POLITÉCNICO DE LEIRIA, Portugal

AVALIADORES

Adriane Shibata Santos, UNIVILLE – Universidade da região de Joinville, Brasil
Aguinaldo dos Santos, UFPR – Universidade Federal do Paraná, Brasil
Alessandra Gerson Saltiel Schmidt, ESADE – Barcelona
Alexandre Márcio Toledo, FAU/UFAL – Universidade Federal de Alagoas, Brasil
Almir Barros da S. Santos Neto, UFSM – Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
Amilton José Vieira de Arruda, UFPE – Universidade Federal de Pernambuco, Brasil
Ana Claudia Maynardes, UnB – Universidade de Brasília, Brasil
Ana Karla Freire de Oliveria, UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil
Ana Kelly Marinoski Ribeiro, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil
Ana Lígia Papst de Abreu, IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina, Brasil
Ana Paula Kieling, UNIVALI/IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina, Brasil
Ana Veronica Pazmino, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil
Anna Cristina Ferreira, UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas
Anerose Perini, UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil
Anderson Saccol Ferreira, UNOESC – Universidade do Oeste de Santa Catarina, Brasil
Anderson Renato Vobornik Wolenski, IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina, Brasil
André Canal Marques, UNISINOS – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil
Andrea Jaramillo Benavides, IKIAM – Universidad Regional Amazónica, Equador
Ângela do Valle, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil
Antônio Roberto Miranda de Oliveira, UFPE – Universidade Federal de Pernambuco, Brasil
Arnoldo Debatin Neto, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil
Áurea Luiza Quixabeira Rosa e Silva Rapôso, IFAL – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Alagoas, Brasil
Ayrton Portilho Bueno, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil
Beany Monteiro Guimarães, UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil
Carla Arcoverde de Aguiar Neves, IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina, Brasil
Carla Martins Cipolla, UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil
Carla Pantoja Giuliano, FEEVALE – Universidade Feevale, Brasil
Carlos Alberto Mendes Moraes, UNISINOS – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil
Carlos Humberto Martins, UEM – Universidade Estadual de Maringá, Brasil
Carlo Franzato, PUC – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Brasil
Celia Neves, Terra Brasil, Brasil
Chrystianne Goulart Ivanoski, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil
Cláudia Queiroz Vasconcelos, UNIFESSPA – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Brasil
Cláudio Pereira de Sampaio, UEL – Universidade Estadual de Londrina, Brasil
Coral Michelin, UPF – Universidade de Passo Fundo, Brasil
Cristiano Alves, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil
Cristina Colombo Nunes, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil
Cristina Sousa Rocha, LNEG – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Portugal
Cristine do Nascimento Mutti, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil
Cyntia Santos Malaguti de Sousa, FAU/USP – Universidade de São Paulo, Brasil
Daiana Cardoso de Oliveira, Unisul – Universidade do Sul de Santa Catarina, Brasil
Daniela Neumann, UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil
Danielle Costa Guimarães, UFIFAP – Universidade Federal do Amapá, Brasil
Danilo Corrêa Silva, UNIVILLE – Universidade da Região de Joinville, Brasil
Débora Machado de Souza, UNISINOS – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil
Deivis Luis Marinoski, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Jorge Lino Alves – UP-INEGI – UNIVERSIDADE DO PORTO, Portugal

Rachel Faverzani Magnago – UNISUL – UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA, Brasil

DESIGN

João Pedro Scremin Ramos (UFSC)

PERIODICIDADE

Four-monthly publication/ Publicação quadrimestral

CONTATO

lisiane.librelotto@ufsc.br

ferroli@cce.ufsc.br

DIREITOS DE PUBLICAÇÃO



Lisiane Ilha Librelotto, Dra. (UFSC)

Paulo Cesar Machado Ferroli, Dr. (UFSC)

UFSC | Universidade Federal de Santa Catarina

CTC | Centro Tecnológico

CCE | Centro de Comunicação e Expressão

VirtuHab

Campus Reitor João David Ferreira Lima

Florianópolis - SC | CEP 88040-900

Fones: (48) 3721-2540

(48) 3721-4971

Foto da capa por Maksim Shutov na Unsplash

AVALIADORES QUE PARTICIPARAM DESTA EDIÇÃO

- 1) Ayrton Bueno, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC);
- 2) Alexandre Toledo, Universidade Federal de Alagoas (UFAL/FAU);
- 3) Aline Eyng Savi, Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC);
- 4) Aline Teixeira de Souza, Universidade Federal de Uberlândia (UFU);
- 5) Alisson Jorge Alves do Carmo, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE);
- 6) Ana Claudia Maynardes, Universidade de Brasília (UNB);
- 7) Ana Cristina Andrade Ferreira, Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA);
- 8) Ana Kelly Marinowski Ribeiro, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC);
- 9) Ana Lúcia Papo de Abreu, Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC);
- 10) Ana Paula Kieling, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC);

Denise Dantas, FAU/USP – Universidade de São Paulo, Brasil

Dominique Lewis Leite, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Douglas Luiz Menegazzi, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Edmilson Rampazzo Klein, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Elenir Carmen Morgenstern, UNIVILLE – Universidade da Região de Joinville, Brasil

Elizabeth Romani, UFRN – Universidade Federal do Rio Grande do norte, Brasil

Estela Maris Souza, UNILASALLE – Centro Universitário La Salle, Brasil

Elvis Carissimi, UFSC – Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Fabiane Escobar Fialho, FADERGS – Centro Universitário de Desenvolvimento do Rio Grande do Sul, Brasil

Fabiano Ostapiv, UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil

Fabiolla Xavier Rocha Ferreira Lima, UFG – Universidade Federal de Goiás, Brasil

Fabricao Farias Tarouco, UNISINOS – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil

Felipe Luis Palombini, UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Fernanda Hansch Beuren, UDESC – Universidade do Estado de Santa Catarina, Brasil

Francisco de Assis Sousa Lobo, UFMA – Universidade Federal do Maranhão, Brasil

Franciele Menegucci, UEL – Universidade Estadual de Londrina, Brasil

Gabriel Cremona Parma, UNISUL – Universidade do Sul de Santa Catarina, Brasil

Germannya D’Garcia de Araújo Silva, UFPE – Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

Giane de Campos Grigoletti, UFSM – Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Giovani Maria Arrigone, FACULDADE SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, Brasil

Glauber Soares Junior, FEEVALE – Universidade Feevale, Brasil

Gogliardo Vieira Maragno, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Guilherme Philippe Garcia Ferreira, UFPR – Universidade Federal do Paraná, Brasil

Henrique Lisbôa da Cruz, UNISINOS – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil

Inara Pagnussat Camara, UNOESC – Universidade do Oeste de Santa Catarina, Brasil

Ingrid Scherdien, UNISINOS – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil

Isadora Burmeister Dickie, UNIVILLE – Universidade Regional de Joinville, Brasil

Isabela Battistello Espíndola, IWA – International Water Association, Estados Unidos

Ítalo de Paula Casemiro, UFRJ – UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, Brasil

Itamar Ferreira Silva, UFCG – UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE

Ivan Luiz de Medeiros, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Jacqueline Keller, SENAC – Faculdade de Florianópolis, Brasil

Jaqueline Dilly, UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Jairo Costa Junior, UWA – University of Western, Australia

João Candido Fernandes, UNESP – Universidade Estadual Paulista, Brasil

Jocelise Jacques, UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Joel Dias da Silva, FURB – Universidade Regional de Blumenau, Brasil

José Eustáquio Rangel de Queiroz, UFCG – Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

José Manuel Couceiro Barosa Correia Frade, IPEleira – Escola Superior de Artes e Design – Politécnico de Leiria, Portugal

Josiane Wanderlinda Vieira, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Juliane Almeida, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Julio César Pinheiro Pires, UFSM – Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Karine Freire, UNISINOS – Universidade do Vale dos Sinos, Brasil

Katia Broetto Miller, UFES – Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Liliane Iten Chaves, UFF – Universidade Federal Fluminense, Brasil

Lisandra de Andrade Dias, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Lisiane Ilha Librelotto, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

- 11) Ana Veronica Pazmino, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC);
- 12) André S. Francisco, Marítima;
- 13) André Canal Marques, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS);
- 15) Anja Pratschke, Universidade de São Paulo (USP);
- 16) Beany Monteiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ);
- 17) Bruno Ouro de Abreu, Universidade de Nottingham;
- 18) Camila Silva, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG);
- 19) Carla de Aguiar Neves, Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC);
- 20) Carla Giuliano, INPELL;
- 21) Carlos Fernando Machado Pinto, Universidade do Sul de Santa Catarina (UNISUL);
- 22) Carlos Moraes, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS);
- 23) Cecília Prompt, Margem Arquitetura e Bioconstrução, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC);
- 24) Celia Neves, Rede PROTERRA e Rede TERRABRASIL;
- 25) Chrystianne Ivanóki, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC);
- 26) Cláudia Queiroz de Vasconcelos, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA);
- 27) Claudio Blanco, Universidade Federal do Pará (UFPA);
- 28) Claudio Pereira de Sampaio, Universidade Estadual de Londrina (UEL);
- 29) Cristiano Alves, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC);
- 30) Danielle Guimarães, Universidade Federal do Amapá (UNIFAP);
- 31) Débora Baraúna, Universidade Federal do Paraná (UFPR);
- 32) Deivis Marinoski, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC);
- 33) Diana Viana, Universidade de Brasília (UNB);
- 34) Elvis Carissimi, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM);
- 35) Emanuele Gauer, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM);
- 36) Emeli Lalesca Aparecida Guarda, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT);
- 37) Fabiane Fialho, Centro Universitário FADERGS Laureate International Universities;
- 38) Fabiano Ostapiv, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR);
- 39) Fabrício Tarouco, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS);
- 40) Fernanda Borges, Universidade Federal do Rio Grande (UFRG);
- 41) Gabriel Moraes de Outeiro, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA);
- 42) Gabriel Oscar Cremona Parma, Universidade do Sul de Santa Catarina (UNISUL);
- 43) Geovana Blayer, Universidade Federal de Uberlândia (UFU);
- 44) Gheysa Caroline Prado, Universidade Federal do Paraná (UFPR);
- 45) Guilherme Henrique Fiorot, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS);
- 46) Hamilton Damasceno Costa, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA);
- 47) Humberto Carvalho, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC);
- 48) Ingrid Wanderley, UNIBRA/PPGDESIGN UFCG;
- 49) Itamar Silva, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG);
- 50) Ivan Luiz de Medeiros, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC);
- 51) Jacqueline Keller, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC);
- 52) Jacy Soares Corrêa Neto, Universidade Federal do Amapá (UNIFAP);
- 53) Jairo da Costa Junior, University of Western Australia;
- 54) João Cândido Fernandes, Universidade Paulista (UNESP/Bauru);
- 55) Joel Dias da Silva, Universidade Regional de Blumenau (FURB);
- 56) José Manuel Couceiro Barosa Correia Frade, Instituto Politécnico de Leiria (IPLEIRIA/ESAD);
- 57) Kátia Valéria Marques Cardoso Prates, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR);
- Luana Toralles Carbonari, UEM – Universidade Estadual de Maringá, Brasil
- Manuela Marques Lalane Nappi, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil
- Mara Regina Pagliuso Rodrigues, IFSP – Instituto Federal de São Paulo, Brasil
- Marcelo de Mattos Bezerra, PUC– Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Brasil
- Marcelo Gitriana Gomes Ferreira, UDESC – Universidade do Estado de Santa Catarina, Brasil
- Márcio Pereira Rocha, UFPR – Universidade Federal do Paraná, Brasil
- Marco Antônio Rossi, UNESP – Universidade Estadual Paulista, Brasil
- Marcos Brod Júnior, UFSM – Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
- Marcos Johari Provezani Silva, UNITAU – Universidade de Taubaté
- Maria Luisa Telarolli de Almeida Leite, UNESP – Universidade Estadual Paulista, Brasil
- Maria Fernanda Oliveira, UNISINOS – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil
- Mariana Kuhl Cidade, UFSM – Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
- Marina de Medeiros Machado, UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil
- Marli Teresinha Everling, UNIVILLE – Universidade da Região de Joinville, Brasil
- Marília Gonçalves, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil
- Matheus Barreto de Góes, UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil
- Maycon Del Piero da Silva, UNEOURO – Faculdade de Ouro Preto do Oeste, Brasil
- Michele Tereza Carvalho, UnB – Universidade de Brasília, Brasil
- Miguel Barreto Santos, IPLEiria – Instituto Politécnico de Leiria, Portugal
- Miquelina Rodrigues Castro Cavalcante, UFAL – Universidade Federal de Alagoas, Brasil.
- Mônica Maranha Paes de Carvalho, IESB – Instituto de Educação Superior de Brasília, Brasil
- Nadja Maria Mourão, UEMG – Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil
- Neide Schulte, UDESC – Universidade do Estado de Santa Catarina, Brasil
- Niander Aguiar Cerqueira, UENF – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Brasil
- Noeli Sellin, UNIVILLE – Universidade da Região de Joinville, Brasil.
- Normando Perazzo Barbosa, UFPB – Universidade Federal da Paraíba, Brasil
- Obede Borges Faria, UNESP – Universidade Estadual Paulista, Brasil
- Patricia Freitas Nerbas, UNISINOS – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil
- Paulo Cesar Machado Ferroli, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil
- Paulo Roberto Silva, UFPE – Universidade Federal de Pernambuco, Brasil
- Paulo Roberto Wander, UNISINOS – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil
- Rachel Faverzani Magnago, UNISUL – Universidade do Sul de Santa Catarina, Brasil
- Regiane Trevisan Pupo, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil
- Régis Heitor Ferroli, UNIVALI – Universidade do Vale do Itajaí, Brasil
- Renata Priore Lima, UNIP – Universidade Paulista, Brasil
- Ricardo Barcelos – Ânima Educação, Brasil
- Ricardo Henryque Reginato Quevedo Melo, UPF – Universidade de Passo Fundo, Brasil.
- Rita de Castro Engler, UEMG – Universidade Estadual de Minas Gerais, Brasil
- Roberto Angelo Pistorello, IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina, Brasil
- Rodrigo Catafesta Francisco, FURB – Universidade Regional de Blumenau, Brasil
- Rosângela Miriam Lemos Oliveira Mendonça, UEMG – Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil
- Rosiane Pereira Alves, UFPE – Universidade Federal de Pernambuco, Brasil
- Sérgio Ivan dos Santos, UNIPAMPA – Universidade Federal do Pampa, Brasil
- Sérgio Manuel Oliveira Tavares, UP – Universidade do Porto, Portugal
- Silvio Sezar Carvalho, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil
- Sofia Lima Bessa, UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil
- Suzana Barreto Martins, UFPR – Universidade Federal do Paraná, Brasil
- Tarcisio Dorn de Oliveira, UNIJUÍ – Universidade Regional do Noroeste do Rio Grande do Sul, Brasil.
- Tomás Queiroz Ferreira Barata, FAUUSP – Universidade de São Paulo, Brasil

- 58) Lauro André Ribeiro, IMED e INESCC;
- 59) Letícia Mattana, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC);
- 60) Liliane Chaves, Universidade Federal Fluminense (UFF);
- 61) Lisandra de Andrade Dias, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC);
- 62) Lisiane Ilha Librelotto, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC);
- 63) Luana Kallas, Universidade Federal de Goiás (UFG);
- 64) Luana Torales Carbonari, Universidade Estadual de Maringá (UEM);
- 65) Maria Luísa Leite, Universidade de São Paulo (USP);
- 66) Marli Everling, Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE);
- 67) Michele Fossati, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC);
- 68) Miguel Filipe Barreto dos Santos, Instituto Politécnico de Leiria (IPL);
- 69) Naotake Fukushima, Universidade Federal do Paraná (UFPR);
- 70) Ney Dantas, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE);
- 71) Nuria Pérez Gallardo, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA);
- 72) Paola Egert Ortiz, Universidade do Sul de Santa Catarina (UNISUL);
- 73) Patrícia Farias, Universidade Federal da Bahia (UFBA);
- 74) Patrícia Freitas Nerbas, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS);
- 75) Paulo César Machado Ferroli, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC);
- 76) Paulo Roberto Silva, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE);
- 77) Rachel Magnago, Universidade do Sul de Santa Catarina (UNISUL);
- 78) Regiane Pupo, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC);
- 79) Renata Mansuelo Alves Domingos, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC);
- 80) Renata Priore Lima, Universidade Paulista (UNIP);
- 81) Renato Büchele Rodrigues, Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI);
- 82) Ricardo Straioto, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC);
- 83) Roberto Bernardo da Silva, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA);
- 84) Rogério Cattelan Antochaves de Lima, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM);
- 85) Ronaldo Glufke, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM);
- 86) Rosilaine Isoldi, Universidade Federal de Pelotas (UFPEL);
- 87) Sérgio Tavares, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto;
- 88) Sofia Bessa, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG);
- 89) Tiago Ficagna, Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI);
- 90) Tomás Queiroz Ferreira Barata, Universidade Estadual Paulista (UNESP/FAAC);
- 91) Vanessa Casarin, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC);
- 92) Viviane Nunes, Universidade Federal de Uberlândia (UFU) e Politecnico di Milano/Italia.

Trícia Caroline da Silva Santana, UFRSA – Universidade Federal Rural do Semi-árido, Brasil
Vanessa Casarin, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil
Vicente de Paulo Santos Cerqueira, UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil
Victor Hugo Souza de Abreu, UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil
Vinícius Albuquerque Fulgêncio, UFPE – Universidade Federal de Pernambuco, Brasil
Wilmar Ricardo Rugeles Joya, PUJ – Pontifícia Universidade Javeriana, Colômbia

SOBRE O PERIÓDICO MIX SUSTENTÁVEL

O Periódico Mix Sustentável nasceu da premissa de que o projeto englobando os preceitos da sustentabilidade é a única solução possível para que ocorra a união entre a filosofia da melhoria contínua com a necessidade cada vez maior de preservação dos recursos naturais e incremento na qualidade de vida do homem. A sustentabilidade carece de uma discussão profunda para difundir pesquisas e ações da comunidade acadêmica, que tem criado tecnologias menos degradantes na dimensão ambiental; mais econômicas e que ajudam a demover injustiças sociais a muito estabelecidas. O periódico Mix Sustentável apresenta como proposta a publicação de resultados de pesquisas e projetos, de forma virtual e impressa, com enfoque no tema sustentabilidade. Buscando a troca de informações entre pesquisadores da área vinculados a programas de pós-graduação, abre espaço, ainda, para a divulgação de profissionais inseridos no mercado de trabalho, além de entrevistas com pesquisadores nacionais e estrangeiros. Além disso publica resumos de teses, dissertações e trabalhos de conclusão de curso defendidos, tendo em vista a importância da produção projetual e não apenas textual.

De cunho essencialmente interdisciplinar, a Mix tem como público-alvo pesquisadores e profissionais da Arquitetura e Urbanismo, Design e Engenharias. De acordo com a CAPES (2013), a área Interdisciplinar no contexto da pós-graduação, decorreu da necessidade de solucionar novos problemas que emergem no mundo contemporâneo, de diferentes naturezas e com variados níveis de complexidade, muitas vezes decorrentes do próprio avanço dos conhecimentos científicos e tecnológicos. A natureza complexa de tais problemas requer diálogos não só entre disciplinas próximas, dentro da mesma área do conhecimento, mas entre disciplinas de áreas diferentes, bem como entre saberes disciplinares e não disciplinares. Decorre daí a relevância de novas formas de produção de conhecimento e formação de recursos humanos, que assumam como objeto de investigação fenômenos que se colocam entre fronteiras disciplinares.

Desafios teóricos e metodológicos se apresentam para diferentes campos de saber. Novas formas de produção de conhecimento enriquecem e ampliam o campo das ciências pela exigência da incorporação de uma racionalidade mais ampla, que extrapola o pensamento estritamente disciplinar e sua metodologia de compartimentação e redução de objetos. Se o pensamento disciplinar, por um lado, confere avanços à ciência e tecnologia, por outro, os desdobramentos oriundos dos diversos campos do conhecimento são geradores de diferentes níveis de complexidade e requerem diálogos mais amplos, entre e além das disciplinas.

A Revista Mix Sustentável se insere, portanto, na Área Interdisciplinar (área 45), tendo como áreas do conhecimento secundárias a Arquitetura, Urbanismo e Design (área 29), a Engenharia Civil (área 10) e, ainda, as engenharias em geral.

CLASSIFICAÇÃO QUALIS

No quadriênio 2017-2020 a revista MIX Sustentável está classificada como A3 em todas as áreas de avaliação.

MISSÃO

Publicar resultados de pesquisas e projetos, de forma virtual e impressa, com enfoque no tema sustentabilidade, buscando a disseminação do conhecimento e a troca de informações entre acadêmicos, profissionais e pesquisadores da área vinculados a programas de pós-graduação.

OBJETIVO

Disseminar o conhecimento sobre sustentabilidade aplicada à projetos de engenharia, arquitetura e design.

POLÍTICAS DE SEÇÃO E SUBMISSÃO

A) Seção Científica

Contém artigos científicos para socializar a produção acadêmica buscando a valorização da pesquisa, do ensino e da extensão. Reúne 12 artigos científicos que apresentam o inter-relacionamento do tema sustentabilidade em projetos

de forma interdisciplinar, englobando as áreas do design, engenharia e arquitetura. As submissões são realizadas em fluxo contínuo em processo de revisão por pares. A revista é indexada em [sumários.org](http://sumarios.org) e no [google acadêmico](http://google.academico).

B) Seção Resumo de Trabalhos de Conclusão de Curso de Graduação, Iniciação Científica e Pós-graduação

Tem como objetivo a divulgação de Teses, Dissertações e Trabalhos de Conclusão de Curso na forma de resumos expandidos e como forma de estimular a divulgação de trabalhos acadêmico-científicos voltados ao projeto para a sustentabilidade.

C) Seção Mercadológica

É um espaço para resenhas e entrevistas (espaços de diálogo). Apresenta pelo menos duas entrevistas com profissionais atuantes no mercado ou pesquisadores de renome, mostrando projetos práticos que tenham aplicações na esfera da sustentabilidade. Deverá ainda disponibilizar conversas com especialistas em sustentabilidade e/ou outros campos do saber. Todos os números possuem o Editorial, um espaço reservado para a apresentação das edições e comunicação com os editores.

PROCESSO DE AVALIAÇÃO PELOS PARES

A revista conta com um grupo de avaliadores especialistas no tema da sustentabilidade, doutores em suas áreas de atuação. São 211 revisores, oriundos de 67 instituições de ensino Brasileiras e 8 Instituições Internacionais. Os originais serão submetidos à avaliação e aprovação dos avaliadores (dupla e cega).

Os trabalhos são enviados para avaliação sem identificação de autoria. A avaliação consiste na emissão de pareceres, da seguinte forma:

- aprovado
- aprovado com modificações (a aprovação dependerá da realização das correções solicitadas)
- reprovado

PERIODICIDADE

Publicação quadrimestral com edições especiais. São publicadas três edições regulares ao ano. Conta ainda com pelo menos uma edição especial anual.

POLÍTICA DE ACESSO LIVRE

Esta revista oferece acesso livre imediato ao seu conteúdo, seguindo o princípio de que disponibilizar gratuitamente o conhecimento científico ao público proporciona maior democratização mundial do conhecimento.

ARQUIVAMENTO

Esta revista utiliza o sistema LOCKSS para criar um sistema de arquivo distribuído entre as bibliotecas participantes e permite às mesmas criar arquivos permanentes da revista para a preservação e restauração.

ACESSO

O Acesso pode ser feito pelos endereços: <http://mixsustentavel.paginas.ufsc.br/> ou diretamente na plataforma SEER/OJS em: <http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/>. É necessário acessar a página de cadastro, fazer o seu cadastro no sistema. Posteriormente o acesso é realizado por meio de login e senha, de forma obrigatória para a submissão de trabalhos, bem como para acompanhamento do processo editorial em curso.

DIRETRIZES PARA AUTORES

O template para submissão está disponível em:

<http://mixsustentavel.paginas.ufsc.br/submissoes/>. Todos os artigos devem ser submetidos sem a identificação dos autores para o processo de revisão.

CONDIÇÕES PARA SUBMISSÃO

Como parte do processo de submissão, os autores são obrigados a verificar a conformidade da submissão em relação a todos

os itens listados a seguir. As submissões que não estiverem de acordo com as normas serão devolvidas aos autores. A contribuição deve ser original e inédita, e não estar sendo avaliada para publicação por outra revista; caso contrário, deve-se justificar em “Comentários ao editor”.

O arquivo da submissão deve estar em formato Microsoft Word, OpenOffice ou RTF.

As URLs para as referências devem ser informadas nas referências.

O texto deve estar em espaço simples; usar uma fonte de 12 pontos; empregar itálico em vez de sublinhado (exceto em endereços URL); as figuras e tabelas devem estar inseridas no texto, não no final do documento na forma de anexos.

Enviar separadamente todas as figuras e imagens em boa resolução.

O texto segue os padrões de estilo e requisitos bibliográficos descritos em Diretrizes para Autores e na página <http://mixsustentavel.paginas.ufsc.br/submissoes/>.

POLÍTICA DE PRIVACIDADE

Os nomes e endereços informados nesta revista serão usados exclusivamente para os serviços prestados por esta publicação, não sendo disponibilizados para outras finalidades ou a terceiros.

EDITORES, CONSELHO EDITORIAL E EQUIPE DE EDITORAÇÃO

Os editores são professores doutores da Universidade Federal de Santa Catarina e líderes do Grupo de Pesquisa VirtuHab. Estão ligados ao CTC – Centro Tecnológico, através do Departamento de Arquitetura e Urbanismo e Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo – PósARQ e ao CCE – Centro de Comunicação e Expressão, através do Departamento de Expressão Gráfica, Curso de Design.

O Conselho Editorial atual é composto por Aguinaldo dos Santos, UFPR - Universidade Federal Do Paraná, Brasil; Amilton José Vieira de Arruda, UFPE - Universidade Federal De Pernambuco, Brasil; Carlo Franzato, UNISINOS - Universidade Do Vale Dos Sinos, Brasil; Helena Maria Coelho da Rocha Terreiro Galha Bártolo, IPL - INSTITUTO POLITÉCNICO DE LEIRIA, Portugal; José Manuel Couceiro Barosa Correia Frade, IPE - Escola Superior De Artes E Design - Politécnico De Leiria, Portugal; Jorge Lino Alves, UP - INEGI - Universidade Do Porto, Portugal; Laia Haurie Ibarra – UPC – Universitat Politècnica de Catalunya, Espanha; Lisiane Ilha Librelotto, UFSC - Universidade Federal De Santa Catarina, Brasil; Miguel Aloysio Sattler, UFRGS - Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, Brasil; Paulo Cesar Machado Ferroli, UFSC - Universidade Federal De Santa Catarina, Brasil; Rachel Faverzani Magnago, UNISUL - Universidade Do Sul De Santa Catarina, Brasil; Roberto Bologna, UniFI - Università Degli Studi Di Firenze, Itália; Tomás Queiroz Ferreira Barata, UNESP - Universidade Estadual Paulista, Brasil; Vicente de Paulo Santos Cerqueira, UFRJ - Universidade Federal Do Rio De Janeiro, Brasil.

A editoração conta com o apoio de mestrandos e doutorandos do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo – PósARQ/ UFSC, membros do Grupo de Pesquisa Virtuhab. Os trabalhos gráficos são realizados por estudantes do curso de design da UFSC.

CRITÉRIOS DE COMPOSIÇÃO DA EDIÇÃO

O conselho editorial definiu um limite máximo de participação para autores pertencentes ao quadro da instituição editora. Esse limite não excederá, para qualquer edição, o percentual de trinta por cento (30%) de autores oriundos da UFSC. Assim, pelo menos setenta por cento dos autores serão externos a entidade editora.

ISSN 2447-0899
ISSNe 2447-3073



Mix Sustentável



FLORIANÓPOLIS
VIRTUHAB | CCE | CTC

COPYRIGHT INFORMATION/INFORMAÇÕES DE DIREITO AUTORAL

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial
Diretoria de Marcas, Desenhos Industriais e Indicações Geográficas

Certificado de registro de marca

Processo nº: 922895074

O Instituto Nacional da Propriedade Industrial, para garantia da propriedade e do uso exclusivo, certifica que a marca abaixo reproduzida encontra-se registrada nos termos das normas legais e regularmente em vigor, mediante as seguintes características e condições:



Data de depósito: 10/05/2021
Data da concessão: 22/03/2022
Fim da vigência: 22/03/2032

Titular: PAULO CESAR MACHADO FERROLI [BR/SC] e LISIANE ILHA LIBRELOTTO [BR/SC]
CPF e CPF: 59550236072 e 93048971068
Endereço: Rua Castorina Lobo S.Thiago, 55 - Bairro Santa Mônica, 88035095 , Florianópolis, SANTA CATARINA, BRASIL e Rua Castorina Lobo S.Thiago, 55 - Bairro Santa Mônica, 88035095, Florianópolis, SANTA CATARINA, BRASIL

Apresentação: Mista
Natureza: Marca de Produto/Serviço
CFE(4): 26.13.25
NCL(11): 41
Especificação: Editoração eletrônica; Publicação on-line de livros e periódicos eletrônicos (da classe 41)



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial
Diretoria de Marcas, Desenhos Industriais e Indicações Geográficas

Certificado de registro de marca

Processo nº: 922895074

Rio de Janeiro, 22/03/2022

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Felipe Augusto Melo de Oliveira', is written over a large, faint watermark of the Brazilian coat of arms.

Felipe Augusto Melo de Oliveira
Diretor

SUMÁRIO

ARTIGOS

- 17** **DESALTER EFFICIENCY IN REMOVING SALTS FROM BRACKISH WATER IN PERNAMBUCO'S SEMI-ARID REGION | EFICIÊNCIA DE DESSALINIZADORES NA REMOÇÃO DE SAIS DE ÁGUA SALOBRA NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO | EFICACIA DE LAS DESALINIZADORAS EN LA ELIMINACIÓN DE SALES DEL AGUA SALOBRE EN EL PERNAMBUCO SEMIÁRIDO** | **Thamiris Lessa da Silva, Simone Rosa da Silva, Marco Aurelio Calixto Ribeiro de Holanda, Willames de Albuquerque Soares, Manuella Virginia Salgueiro Gondim e Antonio Celso Dantas Antonino**
- 29** **O CAMPO CIENTÍFICO DA SUSTENTABILIDADE: UM ESTUDO BIBLIOMÉTRICO | THE SCIENTIFIC FIELD OF SUSTAINABILITY: A BIBLIOMETRIC STUDY | EL CAMPO CIENTÍFICO DE LA SOSTENIBILIDAD: UN ESTUDIO BIBLIOMÉTRICO** | **Afonso Maria de Almeida Moreira, Nilton Lúcio Julião, Daniella Ribeiro Pacobello, Andreia Tessari, Orandi Mina Falsarella e Duarcides Ferreira Mariosa**
- 41** **MANUFACTURE OF BRIQUETTES WITH URBAN PRUNING RESIDUES | FABRICAÇÃO DE BRIQUETES COM RESÍDUOS DE PODA URBANA | FABRICACIÓN DE BRIQUETAS A PARTIR DE RESIDUOS DE PODA URBANA** | **Nayara Guetten Ribaski, Ugo Leandro Belini, Carlos Roberto Sette Junior, Anna Clara Chaves Ribeiro, Enzo Aurélio Baruff de Brito e Cunha e André Christian Keinert**
- 51** **STEEL CIRCULAR ECONOMY IN THE CIVIL CONSTRUCTION: A STUDY CASE OF STEEL INDUSTRY | ECONOMIA CIRCULAR DO AÇO NA CONSTRUÇÃO CIVIL: ESTUDO DE CASO DE SIDERÚRGICA | ECONOMÍA CIRCULAR DEL ACERO EN LA CONSTRUCCIÓN: ESTUDIO DE CASO DE UNA EMPRESA SIDERÚRGICA** | **Clarissa Sena de Andrade, Alberto Casado, Emanuel Silva de Amorim, Girlândia de Moraes Sampaio, Diogo Cavalcanti Oliveira e Joaquin Humberto Aquino Rocha**
- 65** **PRODUÇÃO INDUSTRIAL E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: UMA ANÁLISE DO SEGMENTO ELETROINTENSIVO NO BRASIL | INDUSTRIAL PRODUCTION AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT: AN ANALYSIS OF THE ELECTROINTENSIVE SEGMENT IN BRAZIL | PRODUCCIÓN INDUSTRIAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE - ANÁLISIS DEL SEGMENTO ELECTROINTENSIVO EN BRASIL** | **Fabricao Quadros Borges e Maria José Buchall Silva**
- 79** **DEVELOPMENT OF A MATERIAL WITH ELASTOMER WASTE | DESENVOLVIMENTO DE MATERIAL COM RESÍDUOS DE ELASTÔMEROS | DESARROLLO DE MATERIAL CON ELASTÓMEROS DE DESECHO** | **Clara Andrezzo, Danilo Corrêa Silva, Noeli Sellin, Anna Luiza Moraes de Sá Cavalcanti e Andresa de Oliveira**
- 91** **ANÁLISE DE BOAS PRÁTICAS VOLTADAS À REDUÇÃO, REUTILIZAÇÃO E RECICLAGEM DE RESÍDUOS NOS CANTEIROS DE OBRAS DE EDIFÍCIOS | ANALYSIS OF GOOD PRACTICES FOCUSED ON THE REDUCTION, REUSE AND RECYCLING OF WASTE AT BUILDING CONSTRUCTION SITE | ANÁLISIS DE BUENAS PRÁCTICAS HACIA LA REDUCCIÓN, REUTILIZACIÓN Y RECICLAJE DE RESIDUOS EN LAS OBRAS DE EDIFICACIÓN** | **Maria Ezir Rodrigues De Queiroz, Jaqueline Mata de Oliveira, Alberto Casado Lordsleem Júnior, Débora de Gois Santos**
- 101** **PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE UM DICIONÁRIO ILUSTRADO DE CONFORTO LUMÍNICO | DEVELOPMENT PROCESS OF AN ILLUSTRATED DICTIONARY OF LIGHTING COMFORT | PROCESO DE DESARROLLO DE UN DICCIONARIO ILUSTRADO DE CONFORT LUMÍNICO** | **Egon Vettorazzi, Giuliana Dos Santos Paz, Helenice Maria Sacht e Vitória Francescon Cittolin**

- 115** **INITIAL DEVELOPMENT OF *Acacia mearnsii* ON SUBSTRATE CONTAINING BIOCHAR DERIVED FROM CHARCOAL FINES** | **DESENVOLVIMENTO INICIAL DE *Acacia mearnsii* EM SUBSTRATO CONTENDO BIOCARVÃO DERIVADO DE FINOS DE CARVÃO VEGETAL** | **DESARROLLO TEMPRANO DE *Acacia mearnsii* EN UN SUSTRATO QUE CONTIENE BIOCARBÓN DERIVADO DE FINOS DE CARBÓN VEGETAL** | Marina Remião dos Santos, Igor Glaeser da Rocha, Juliano Moraes de Oliveira, Gilson Schlindwein, Carlos Alberto Mendes Moraes, Genyr Kappler e Regina Célia Espinosa Modolo
- 125** **BIOMASSA COMO MATÉRIA-PRIMA RENOVÁVEL: OBSTÁCULOS PARA UTILIZAÇÃO** | **BIOMASS AS A RENEWABLE RAW MATERIAL: OBSTACLES TO ITS USE** | **LA BIOMASA COMO MATERIA PRIMA RENOVABLE: OBSTÁCULOS PARA SU USO** | Mariana Menoncin, Igor César Rosa Silva, Fernanda Ramos Assolari e Ugo Leandro Belini
- 141** **DESIGN, CRISE ECOLÓGICA E CONDIÇÕES DE PRESERVAÇÃO DE VIDA NA TERRA** | **DESIGN, ECOLOGICAL CRISIS, AND CONDITIONS FOR THE PRESERVATION OF LIFE ON EARTH** | **DISEÑO, CRISIS ECOLÓGICA Y CONDICIONES PARA PRESERVAR LA VIDA EN LA TIERRA** | Marli Teresinha Everling e Euler Renato Westphal
- 155** **USE OF ACOUSTIC TOMOGRAPH FOR DETECTING INTERNAL FAULTS IN WOODEN PARTS** | **USO DE TOMÓGRAFO ACÚSTICO PARA DETECÇÃO DE FALHAS INTERNAS EM PEÇAS DE MADEIRA** | **USO DE TOMÓGRAFO PARA DETECTAR DEFECTOS INTERNOS EN PIEZAS DE MADERA.** | Matheus Barreto de Góes, Edgar Vladimiro Mantilla Carrasco e Adriana Braga Guimarães
- 165** **SPATIAL DISTRIBUTION AND TEMPORAL TRENDS IN RAINFALL IN MATO GROSSO DO SUL, BRAZIL** | **DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TENDÊNCIAS TEMPORAIS DE PRECIPITAÇÃO NO MATO GROSSO DO SUL, BRASIL** | **DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TENDENCIAS TEMPORALES DE LA PRECIPITACIÓN EN MATO GROSSO DO SUL, BRASIL** | Izabel Rodrigues Leite, Luiz Felipe Finck, Aleska Kaufmann Almeida, Jovane Martins Correa, Cássia Monteiro da Silva Burigato Costa e Isabel Kaufmann De Almeida
- 183** **ULTRA-HIGH-PERFORMANCE CONCRETES WITH PHENOLIC FOUNDRY SAND: MECHANICAL AND MICROSTRUCTURAL EVALUATION** | **CONCRETOS DE ULTRA ALTO DESEMPENHO COM AREIA DE FUNDIÇÃO FENÓLICA: AVALIAÇÃO MECÂNICA E MICROESTRUTURAL** | **HORMIGONES DE ULTRA ALTO DESEMPENHO CON ARENA DE FUNDICIÓN FENÓLICA: EVALUACIÓN MECÁNICA Y MICROESTRUTURAL** | Bóris Casanova Sokolovicz, Geraldo Cechella Isaia, André Lübeck e Heliton Weide
- 201** **JARDINS DE CHUVA: ATUALIZAÇÕES SOBRE A TÉCNICA A PARTIR DE UMA REVISÃO SISTEMÁTICA** | **RAIN GARDENS: TECHNIQUE UPDATES BASED ON A SYSTEMATIC REVIEW** | **JARDINES DE LLUVIA: ACTUALIZACIONES DE LA TÉCNICA A PARTIR DE UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA** | Fabio Gondim, Alfredo Akira Ohnuma Júnior e Marcelo Obraczka

EDITORIAL

MIX SUSTENTÁVEL VOL. 9 N. 5 — EDIÇÃO ESPECIAL ENSUS 2023

MUDANÇAS

Ser editor de um periódico é uma atividade que não é nem um pouco maçante. Precisamos estar sempre atentos as mudanças, e em contínuo aprendizado. Essa frase inicial tem por objetivo explicar duas mudanças importantes na política editorial da MIX Sustentável.

A primeira se refere ao fato de que, a partir de 10 de agosto do corrente ano estamos aceitando apenas artigos em língua estrangeira, notadamente inglês e excepcionalmente espanhol. Apesar da língua portuguesa ser uma das mais faladas do mundo (sexto lugar), com uma população estimada em 178 milhões de pessoas, é fato que boa parte desse público se encontra em países em desenvolvimento, que representam, pelos dados mais recentes, em torno de apenas 3,5% dos artigos publicados.

Em contrapartida o Espanhol é a segunda língua mais falada do mundo com 325 milhões de pessoas e o inglês, a terceira, com 312 milhões de pessoas. A China obviamente destoa nesse cenário com sua imensa população, no entanto as publicações científicas de origem, em geral, são publicadas em inglês, por consequência da grande dificuldade que a língua originária destes povos representam aos demais leitores.

Deste modo, o conselho científico da MIX Sustentável optou pelo direcionamento das publicações em língua estrangeira, objetivando um maior alcance científico dos artigos e conseqüentemente um maior reconhecimento dos autores frente à comunidade científica internacional.

A segunda mudança é quanto ao modo de publicação. Já a partir deste número, optamos pela publicação contínua, ou seja, os artigos são disponibilizados online à medida que forem sendo diagramados e finalizados, até que se complete os quinze artigos de cada edição.

As ações descritas acima objetivam manter a qualidade da MIX Sustentável e uma avaliação positiva no próximo quadriênio, rumo a nosso objetivo: conquistar o A1.

Esta edição ainda possui alguns artigos em português (em um número de seis do total de quinze), e provavelmente os dois próximos fascículos manterão publicações na nossa língua nativa daqueles artigos que constavam em nosso fluxo editorial antes do dia 10 de agosto de 2023. Novas alterações estão sendo discutidas pelo comitê editorial da revista no que diz respeito às seções de resumos e entrevistas, e este é o motivo por não termos nesta edição nenhuma publicação nestas seções.

Vamos então aos 15 artigos que compõem esse número:

O artigo 1, com o título DESALTER EFFICIENCY IN REMOVING SALTS FROM BRACKISH WATER IN PERNAMBUCO'S SEMI-ARID REGION, é proveniente da associação de pesquisadores pernambucanos da UFPE e UPE e se refere a escassez de água em locais remotos e a dessalinização.

O segundo artigo: O CAMPO CIENTÍFICO DA SUSTENTABILIDADE: UM ESTUDO BIBLIOMÉTRICO, é assinado por pesquisadores da PUC-Campinas que sugerem que o campo científico da sustentabilidade já se encontra suficientemente consolidado.

Da parceria entre a UFTPR e a UFG, vem o artigo MANUFACTURE OF BRIQUETTES WITH URBAN PRUNING RESIDUES, onde os autores demonstram que as madeiras provenientes do desdobro da matéria-prima de podas urbanas podem ser utilizadas diretamente para a produção de briquetes, sem a necessidade de processamento, como trituração e moagem, reduzindo os custos associados ao seu aproveitamento energético.

O quarto artigo reúne pesquisadores da UPE com a UFRJ, e com o título STEEL CIRCULAR ECONOMY IN THE CIVIL CONSTRUCTION: A STUDY CASE OF STEEL INDUSTRY aborda a economia circular do aço em uma siderúrgica, demonstrando os impactos para a sustentabilidade econômica, social e do meio-ambiente.

Artigo em português, o quinto artigo da edição PRODUÇÃO INDUSTRIAL E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - UMA ANÁLISE DO SEGMENTO ELETROINTENSIVO NO BRASIL, é elaborado por dois pesquisadores, um do IFPA e outra da UNAMA, e tem por objetivo analisar estrategicamente a produção industrial eletrointensiva enquanto contribuinte ao processo de desenvolvimento sustentável no país.

Da UNIVILLE vem um artigo importante na área de materiais: DEVELOPMENT OF A MATERIAL WITH ELASTOMER WASTE, onde foi proposto o uso de um resíduo particulado de borracha como reforço em diferentes proporções em um compósito à base de poliuretano vegetal biodegradável (PUR).

O sétimo artigo é oriundo da parceria entre pesquisadores da UPE e da UFS, tendo por título ANÁLISE DE BOAS PRÁTICAS VOLTADAS À REDUÇÃO, REUTILIZAÇÃO E RECICLAGEM DE RESÍDUOS NOS CANTEIROS DE OBRAS DE EDIFÍCIOS. A pesquisa consistiu em identificar e analisar as boas práticas que possibilitam uma melhor gestão dos resíduos da construção civil no que diz respeito aos 3R's em canteiros de obras.

Com contribuição da universidade chilena USACH, os pesquisadores da UNILA apresentam o artigo PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE UM DICIONÁRIO

ILUSTRADO DE CONFORTO LUMÍNICO que pretende contribuir com a democratização do conhecimento de termos técnicos relativos ao conforto lumínico, auxiliando os estudantes e profissionais da área na apropriação desses termos.

O nono artigo vem da UNISINOS, com contribuição da UFRGS, cujo título INITIAL DEVELOPMENT OF *Acacia mearnsii* ON SUBSTRATE CONTAINING BIOCHAR DERIVED FROM CHARCOAL FINES resume o objetivo desta pesquisa, que foi avaliar o desempenho de cultivo via substrato com adição de finos de carvão vegetal.

Da UTFPR e UFRJ temos o artigo BIOMASSA COMO MATÉRIA-PRIMA RENOVÁVEL: OBSTÁCULOS PARA UTILIZAÇÃO, cujos resultados apresentados no artigo contribuem para um melhor planejamento e gestão ao desenvolver e utilizar-se de biomassa como matéria-prima.

O décimo primeiro artigo, oriundo da UNIVILLE, aborda um assunto importante, relacionado com a ética. O objetivo do artigo é discutir o “princípio responsabilidade” e “a condição humana” para a fundamentação do design para uma ética da vida. Tem como título DESIGN, CRISE ECOLÓGICA E CONDIÇÕES DE PRESERVAÇÃO DE VIDA NA TERRA.

Da UFMG vem o artigo USE OF ACOUSTIC TOMOGRAPH FOR DETECTING INTERNAL FAULTS IN WOODEN PARTS, cujos resultados mostram o potencial do uso de técnica não destrutiva em corpos de prova, e plantios florestais, contribuindo para a necessidade de caracterização da madeira em pé, para todos os tipos de plantio.

Um grupo de pesquisadores da UFMS apresentam o artigo SPATIAL DISTRIBUTION AND TEMPORAL TRENDS IN RAINFALL IN MATO GROSSO DO SUL, BRAZIL cuja principal contribuição foi avaliar a variabilidade espacial e temporal das chuvas no estado de Mato Grosso do Sul (Brasil), durante a estação seca (maio a setembro) e chuvosa (outubro a abril) ao longo de quatro décadas.

O décimo quarto artigo é resultado de uma contribuição conjunta entre a UFSM e a URI, cujo título ULTRA-HIGH PERFORMANCE CONCRETES WITH PHENOLIC FOUNDRY SAND: MECHANICAL AND MICROSTRUCTURAL EVALUATION mostra a abordagem principal do artigo, ou seja, o uso de concretos de ultra alto desempenho (CUAD) como soluções na Engenharia civil.

A edição finaliza com o artigo JARDINS DE CHUVA: ATUALIZAÇÕES SOBRE A TÉCNICA A PARTIR DE UMA REVISÃO SISTEMÁTICA, proveniente de pesquisadores da UERJ, que concluiu que existe uma tendência de abordar os custos dos jardins, sobretudo quanto à manutenção dos mesmos, no que se refere a eficiência dos jardins de chuvas em pequenas áreas, temas importantes para a popularização da técnica.

Desejamos a todos uma excelente leitura,

Lisiane Ilha Librelotto e Paulo Cesar Machado Ferroli

DESALTER EFFICIENCY IN REMOVING SALTS FROM BRACKISH WATER IN PERNAMBUCO'S SEMI-ARID REGION

EFICIÊNCIA DE DESSALINIZADORES NA REMOÇÃO DE SAIS DE ÁGUA SALOBRA NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO

EFICACIA DE LAS DESALINIZADORAS EN LA ELIMINACIÓN DE SALES DEL AGUA SALOBRE EN EL PERNAMBUCO SEMIÁRIDO

THAMIRIS LESSA DA SILVA, MSc. | UPE - Universidade de Pernambuco, Brasil

SIMONE ROSA DA SILVA, Dra. | UPE - Universidade de Pernambuco, Brasil

MARCO AURELIO CALIXTO RIBEIRO DE HOLANDA, MSc. | UFPE - Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

WILLAMES DE ALBUQUERQUE SOARES, Dr. | UPE - Universidade de Pernambuco, Brasil

MANUELLA VIRGINIA SALGUEIRO GONDIM, Dra. | UFPE - Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

ANTONIO CELSO DANTAS ANTONINO, Dr. | UFPE - Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

ABSTRACT

Water scarcity is a problem in remote locations. The desalination of brackish underground sources through reverse osmosis (RO) is a solution for producing drinking water to meet the needs of the diffuse population. Therefore, the aim was to investigate the quality of desalinated water offered to the population of the municipalities of Cumaru and Riacho das Almas, located in Pernambuco's semi-arid region, through the amount of total dissolved solids (TDS) and electrical conductivity (EC). To this end, visits were made, and permeate and concentrated well water were collected from communities with desalination systems installed and in full use. The results show that 85% of the operating systems in these municipalities have salt removal efficiencies greater than 80%. It was also found that there is no specific minimum salt removal efficiency to achieve the potability of brackish water since the TDS concentrations of brackish sources vary. Thus, desalination systems that use the RO technique for salt removal are efficient for treating brackish water from artesian wells, provided that the equipment has periodic maintenance and presents good operating conditions.

KEYWORDS

Desalination; electrical conductivity; reverse osmosis.

RESUMO

A escassez de água é um problema em locais remotos. A dessalinização de fontes salobras subterrâneas, por meio de osmose reversa (OR), apresenta-se como uma solução para a produção de água potável a fim de atender a população difusa de localidades difusas. Diante disso, objetivou-se investigar a qualidade da água dessalinizada ofertada à população dos municípios de Cumaru e Riacho das Almas, localizados no semiárido pernambucano, por meio da quantidade de sólidos totais dissolvidos (STD) e da condutividade elétrica (CE). Para isso, foram realizadas visitas e coletas de água do poço, do permeado e do concentrado nas comunidades que possuem sistemas de dessalinização instalados e que encontram-se em pleno uso. Como resultados, a maioria dos sistemas em funcionamento nesses municípios (85%) apresentam eficiência na remoção de sais superior a 80%. Verificou-se também que não existe uma eficiência



de remoção de sais mínima específica para atingir a potabilidade da água salobra, visto que as concentrações de STD das fontes salobras é variável. Dessa forma, os sistemas de dessalinização que utilizam a técnica da OR na remoção de sais são eficientes para o tratamento de água salobra de poços artesianos, desde que os equipamentos tenham manutenções periódicas e apresentem boas condições de funcionamento.

PALAVRAS-CHAVE

Condutividade elétrica; dessalinização; osmose reversa.

RESUMEN

La escasez de agua es un problema en lugares remotos. La desalinización de fuentes de agua subterránea salobre mediante ósmosis inversa (OI) es una solución para la producción de agua potable destinada a la población de localidades difusas. Teniendo esto en cuenta, el objetivo fue investigar la calidad del agua desalinizada ofrecida a la población de los municipios de Cumaru y Riacho das Almas, localizados en la región semiárida de Pernambuco, por medio de la cantidad de sólidos disueltos totales (SDT) y conductividad eléctrica (CE). Para ello, se visitó y recogió agua de pozo, permeado y concentrado de las comunidades que tienen instalados sistemas de desalinización y que están en pleno uso. Los resultados muestran que el 85% de los sistemas en funcionamiento en estos municipios tienen una eficacia de eliminación de sales superior al 80%. También se comprobó que no existe una eficiencia mínima específica de eliminación de sales para alcanzar la potabilidad del agua salobre, ya que las concentraciones de ETS de las fuentes salobres varían.

PALABRAS CLAVE

Condutividad eléctrica; desalinización; osmosis inversa

1. INTRODUCTION

Despite a large number of freshwater sources in Brazil, its poor distribution aggravates a scenario of water scarcity that affects a large part of the population (MOREIRA et al., 2021) as happens in the Northeastern semi-arid region (CUNHA; PONTES, 2022). This has led the state to constantly seek measures to cope with this problem and guarantee access to water for the entire population. As defined by Law 9433, the National Water Resources Policy's (PNRH) objective is to ensure the availability of quality water for the present and future generations (BRASIL, 2017).

Several studies have pointed out that water scarcity has been one of the main causes of the occurrence of conflicts in remote locations and has forced the emigration of thousands of people from the areas affected by the problem (CASTRO, 2012; FILHO et al., 2022; REGAN; KIM, 2020). Improved water management and conservation are essential measures to combat its scarcity. However, additional interventions will be necessary, starting with using non-conventional water sources to increase freshwater supplies, which are getting smaller and smaller (PATEL et al., 2021).

In order to make water potable in locations where there is scarcity, as well as in the Brazilian semiarid region, the desalination process of underground brackish water sources has been a relevant tool (CUNHA; PONTES, 2022; ASHRAF et al., 2022). The desalination of saline and brackish waters has been a good alternative for producing drinking water in arid lands, such as the Brazilian semiarid, which encompasses 12% of the national territory and has water with a high content of dissolved salts due to its proximity to crystalline rock (CUNHA; PONTES, 2022). This technique, already widespread worldwide, accumulates desalination plants, producing from small daily flows to several million cubic meters per day, generating quality water for domestic and industrial purposes.

Reverse osmosis (RO), for example, is the technique that offers the most versatility for applications in which the salinity of the feed water varies considerably and it facilitates when different degrees of salt removal need to be achieved (PATEL et al., 2021). Therefore, it is an essential direction for efficient brackish water desalination.

Therefore, RO is one of the most widespread desalination techniques globally, accounting for over 80% of freshwater production from brackish water (JONES et al., 2019). Kabir et al. (2018) analyzed a brackish water reverse osmosis system in rural Bangladesh, where the groundwater had an average TDS of 7,500 ppm, with its salt content

reduced to 100 ppm after the desalination process at the cost of \$0.0022/liter. The authors state that reverse osmosis is the best water purification system in terms of cost and ease of maintenance.

Taha and Al'sead (2018) affirm that the efficiency of RO has improved over the years with the development of new low-cost membranes, the use of energy recovery devices, and the use of improved membranes, among other methods that have allowed the technique to evolve. Almeida et al. (2020) developed a pilot project of brackish water desalination in Paraná (Brazil) from the mixture of raw water from the Pombas River with seawater until it reached a concentration of total dissolved solids (TDS) of 1500 ± 100 mg L⁻¹. The researchers performed desalination by RO, with ultrafiltration and softening as pretreatment. The results proved that pretreatment could not remove TDS or electrical conductivity, but reverse osmosis reduced TDS and conductivity with 99% efficiency.

The government authorities, whose function is to guarantee society access to its rights provided by law (BRASIL, 2017), have applied methods to either supply the need for access to water by this population or to alleviate the suffering caused by the environmental water shortage in semi-arid areas. One of the methods adopted is the desalination of brackish waters, found in underground sources with mineral properties that make them unsuitable for human use (LI et al., 2023).

Brazilian water potability parameters are governed by national legislation, Ordinance No. 5 of September 28, 2017, which deals with the consolidation of standards on health actions and services of the Unified Health System (BRASIL, 2017), and Resolution No. 357 deals with the framing of water bodies based on this legislation (CONAMA, 2005). In this resolution, "saltwater" is defined as containing salinity greater than 30‰. For brackish water, salinity values are between 30 and 0.5‰, and for freshwater, these values must be less than 0.5‰. Thus, Brazilian legislation is as restrictive as the Environmental Protection Agency of the United States of America (USA), which stipulates a threshold of total dissolved solids (TDS) of 500 mg L⁻¹. However, contrary to North American legislation, the Brazilian Ministry of Health stipulated that the maximum allowed value of total dissolved solids in water should be 1000 mg L⁻¹, showing that the management of water resources in the country is still incipient (BRASIL, 2017).

Authors such as Stanton and Dennehy (2017) state that it is common for various supplies to exceed this limit, but that water with a TDS greater than 1,000 mg L⁻¹ is not

desirable for human consumption as it can have a bitter, salty, or metallic taste, as well as an unpleasant smell, and can even be toxic.

Given the above, it is possible to observe that great application has been given to desalination systems using the reverse osmosis technique throughout the world and in the local context of the Brazilian semi-arid region. Thus, the objective was to analyze the operation of desalination systems in the municipalities of Cumarú and Riacho das Almas to determine the efficiency of removing salts from underground brackish water.

2. METHODOLOGY

2.1. Location

The visits to desalination systems operating in Pernambuco were conducted in the municipalities of Cumarú and Riacho das Almas. These municipalities were chosen due to the amount of equipment installed, as well as the receptiveness of the municipal managers, who facilitated access to the systems. The visits began after a partnership was established with the Secretary of Infrastructure of the State of Pernambuco (SEINFRA) and the State Secretary of Water Resources (SERH), through registered requests sent to the municipal governments of Cumarú (No. 350/2020-SERH/PERNA) and Riacho das Almas (No. 349/2020-SERH/PERNA), Figure 1.

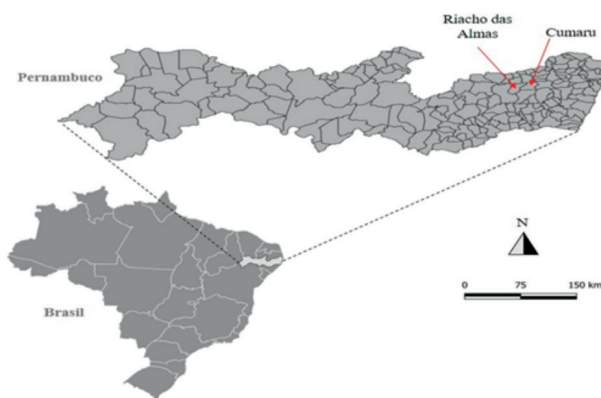


Figure 01: Location Cumarú and Riacho das Almas in PE.
Source: Authors.

The first municipality, Cumarú, has a land area of 292.2 km², an estimated population of 10,192 inhabitants, and is approximately 90 km from Recife, the capital of the state of Pernambuco (IBGE, 2021). The second municipality, Riacho das Almas, neighboring Cumarú on the west side, has 314.0 km² of land area and an estimated population of 20,646 people, according to IBGE estimates (IBGE,

2021). Both municipalities are in the semi-arid mesoregion of Pernambuco and have the Caatinga as a distinct biome and a climate of type As, according to the Köppen classification.

2.2. Collection and analysis

Between January 27 and 29, 2021, the places with desalination systems present in communities located in the municipality of Cumarú were visited, and between January 25 and February 4, 2021, the visits to communities belonging to the municipality of Riacho das Almas took place. In both, the visits were accompanied by an official of the local municipality.

In the communities with desalination systems in operation, four in Cumarú and 11 in Riacho das Almas, water was collected before and after undergoing the desalination process (named well and permeate, respectively), as well as the wastewater discharged after desalination, which contains high levels of salts (concentrate). This collection was performed in small 300 ml PET bottles, properly identified with the contents' locality code, name, and designation.

The water samples were transported to the Soil Physics Laboratory of the Department of Nuclear Energy (DEN) of the Federal University of Pernambuco (UFPE), where the analyses of electrical conductivity (EC) and total dissolved solids content (TDS) were performed. Six water samples were collected from each desalination system; three before the desalination process and three after. The analyses followed the standards stipulated by the Manual of Procedures and Laboratory Techniques for Analysis of Sanitary and Industrial Water and Sewage of the Polytechnic School of the University of São Paulo (USP, 2004).

From the conductivity and TDS data, the calculation of salt removal efficiency was performed, as proposed by Lopes (LOPES, 2018). Besides the salt removal percentage for EC, equation (1), the ratio between the TDS of the water resulting from desalination and the water contained in the artesian well was calculated, as clarified in equation (2). This measure was found to verify how close the efficiency values are to the two parameters and check the existence of a discrepancy in using one or the other type of data.

$$E_{EC} = \left(1 - \frac{EC_{permeate}}{EC_{well}}\right) \times 100 \quad (1)$$

$$E_{TDS} = \left(1 - \frac{TDS_{permeate}}{TDS_{well}}\right) \times 100 \quad (2)$$

Where: EEC and ETDS are the percentages of salt removal efficiency by EC and TDS, respectively; EC_{permeate}

and TDS_{permeate} are the electrical conductivity of water samples from the desalter (dS m⁻¹) and the amount of total dissolved solids of the permeate water sample from the desalter (mg L⁻¹), respectively; EC_{Well} and TDS_{Well} are the electrical conductivity of the water sample taken from the locality well (dS m⁻¹) and the amount of total dissolved solids of the water sample taken from the locality well (mg L⁻¹).

In cases where desalination was not enough to reach the level of potability for human consumption, a calculation was made to simulate the second desalination using the system's current efficiency, equation (3). This calculation was made to verify whether, under the current conditions of the local desalination system, the second desalination of the water would be sufficient to make it potable and safe to be consumed by the population.

$$TDS_{double\ permeate} = STD_{permeate} - \left(\frac{E \times TDS_{permeate}}{100} \right) \quad (3)$$

Where: TDS_{double permeate} represents the amount of total dissolved solids in the water from the second desalination process (mg L⁻¹); STD_{permeate} is the amount of total dissolved solids in the water sample from the first desalination process (mg L⁻¹); and E represents the salt removal efficiency, in percent.

Finally, the minimum efficiency to reach 1,000 mg L⁻¹ (proposed by the Brazilian Ministry of Health) was found in the same places where the desalination system produced water with TDS amounts above this limit after a single desalination process. The equation (4) illustrates how this minimum efficiency necessary to achieve potability was simulated with the original data from field samples.

$$E_{nec} = \frac{TDS_{well} - 1000}{TDS_{well}} \times 100 \quad (4)$$

Where: E_{nec} is the minimum efficiency required to reach 1,000 mg L⁻¹, in percent; TDS_{Well} represents the amount of total dissolved solids in the water sample from the local well, in mg L⁻¹.

2.3. Results and discussion

From the collection and analysis of water samples, it is possible to see how the quality of desalinated water produced by desalination systems installed in communities in the municipality of Riacho das Almas and Cumaru, located in the state of Pernambuco, is. The EC of a sample can quantify the potential capacity of the solution to transfer electrical charges so that the more salts there are in a solution,

the higher its potential. Table 1 shows the EC data for the samples.

Municipality	Locality	EC (dS m ⁻¹)		
		Well	Permeate	Concentrated
Riacho das Almas	Sítio Chambá	11.610	1.137	16.280
	Sítio Trapiá	5.670	0.758	6.990
	Pau Ferro	8.900	0.269	9.920
	Pau Ferro 2	9.570	0.588	10.040
	Centro-Nova Esperança	3.000	0.567	4.030
	Pinhões	10.860	0.367	11.550
	Camorim 2	12.090	2.080	12.590
	Sítio Ramada	5.170	1.195	8.430
	Vila Nova	16.350	6.240	18.600
	Sítio Caldeirão	12.470	9.850	16.780
	Sítio Salinas	3.520	0.181	5.340
Cumaru	Assentamento Gavião	6.690	0.111	8.950
	Água doce de cima	5.000	0.148	6.810
	Campos Novos	16.240	1.135	21.100
	Poço de pedra	9.110	1.022	11.690

Table 01: EC of water samples from the localities.

Source: Authors.

By means of Table 01, it is possible to observe the difference between the EC values for the different water samples of the locations. Moreover, it is also noted a reduction in the EC of the raw water available in underground sources (well) for the permeate and an increase when related to water with a higher concentration of salts (concentrate), which is rarely reused for consumption.

However, the observation of these isolated data does not provide information about the quality of the water produced by the desalter, besides not informing which dissolved salts are in higher or lower concentration, increasing or decreasing the capacity of electrical conduction. Moreover, despite the drastic reduction in conductivity values observed after the desalination process, seven of the fifteen samples analyzed showed that the EC values exceeded 1 dS m⁻¹, the average Nunes et al. (2022) observed when analyzing the EC of groundwater in Brazilian semiarid regions. This indicates that these seven water samples have moderate salinity concentrations, even after desalination.

The amount of TDS followed the pattern of the EC data, with a higher concentration for the concentrate samples, followed by the well water, and a lower concentration for the permeate samples, confirming the efficiency of the treatment. The TDS results obtained for the samples collected in each of the localities with desalination equipment visited are shown in Table 02.

The data analysis in Table 02 confirms that the water quality in all the wells analyzed where a desalter was installed is brackish (STD above 1000 mg L⁻¹), according to the classification used by Brazilian Ministry of Health. This classification states that when the STD values are below 1000 mg L⁻¹, the water is fresh; between 1000 and 30000 mg L⁻¹, it is brackish; and above 30000 mg L⁻¹, it is considered salty. Prior analysis of the locality for installing a desalter relies on

the quality of the well water, which for the referred cases, confirmed the need for a desalination system to improve the quality of the water available in the underground sources of these localities.

However, the observation of these isolated data does not provide information about the quality of the water produced by the desalter, besides not informing which dissolved salts are in higher or lower concentration, increasing or decreasing the capacity of electrical conduction. Moreover, despite the drastic reduction in conductivity values observed after the desalination process, seven of the fifteen samples analyzed showed that the EC values exceeded 1 dS m⁻¹, the average Nunes et al. (2022) observed when analyzing the EC of groundwater in Brazilian semiarid regions. This indicates that these seven water samples have moderate salinity concentrations, even after desalination.

The amount of TDS followed the pattern of the EC data, with a higher concentration for the concentrate samples, followed by the well water, and a lower concentration for the permeate samples, confirming the efficiency of the treatment. The TDS results obtained for the samples collected in each of the localities with desalination equipment visited are shown in Table 02.

The data analysis in Table 02 confirms that the water quality in all the wells analyzed where a desalter was installed is brackish (STD above 1000 mg L⁻¹), according to the classification used by Brazilian Ministry of Health. This classification states that when the STD values are below 1000 mg L⁻¹, the water is fresh; between 1000 and 30000 mg L⁻¹, it is brackish; and above 30000 mg L⁻¹, it is considered salty.

Prior analysis of the locality for installing a desalter relies on the quality of the well water, which for the referred cases, confirmed the need for a desalination system to improve the quality of the water available in the underground sources of these localities.

Regarding the water treated by the desalter for consumption by the population, only eight out of the 15 localities had access to water in potable conditions for human use, based on the maximum TDS value of 1,000 mg L⁻¹, which is the Maximum Allowable Value (MPV) for human consumption according to the Ministry of Health (BRASIL, 2017).

However, considering Resolution No. 357 (CONAMA, 2005) to analyze the freshwater parameters, only five locations presented desalinated water with a concentration below 500 mg L⁻¹. The same is true for compliance with North American standards. The TDS values for the systems outside the potability standard are well below the TDS values for well water from these locations. However, salt removal is notable for these systems but was still insufficient to generate quality water for the population.

The concentrate, which is also a product of desalination but with a high salt concentration, is more concentrated than the raw water (from the well) that is introduced into the system, which can negatively impact the environment (NUNES et al., 2022). Nonetheless, despite having a higher salt content, the analyzed concentrate is still considered brackish, according to Silveira et al. (2015). Moreover, this waste generated by the desalination process has been used in many communities in the Brazilian semiarid region

Municipality	Locality	TDS (mg L ⁻¹)			Classification Silveira et al. (2015)		
		Well	Permeate	Concentrated	Well	Permeate	Concentrated
Riacho das Almas	Sítio Chambá	11870	1098	17190	Mod. brack.	Slight. brack.	Heav. brack.
	Sítio Trapiá	4877	728	5464	Slight. brack.	freshwater	Mod. brack.
	Pau Ferro	4587	475	5879	Slight. brack.	freshwater	Mod. brack.
	Pau Ferro 2	7221	910	7877	Mod. brack.	freshwater	Mod. brack.
	Centro-Nova Esperança	2302	442	3279	Slight. brack.	freshwater	Slight. brack.
	Pinhões	6890	1181	10780	Mod. brack.	Slight. Brack.	Mod. brack.
	Camorim 2	9629	1638	10820	Mod. brack.	Slight. Brack.	Mod. brack.
	Sítio Ramada	3463	635	3638	Slight. Brack.	freshwater	Slight. brack.
	Vila Nova	4689	3998	10745	Slight. Brack.	Slight. brack.	Mod. brack.
	Sítio Caldeirão	10757	6273	12685	Mod. brack.	Mod. brack.	Mod. brack.
Cumaru	Sítio Salinas	2543	1030	3303	Slight. brack.	Slight. brack.	Slight. brack.
	Assentamento Gavião	2220	385	6432	Slight. brack.	freshwater	Mod. brack.
	Água doce de cima	3005	357	4360	Slight. brack.	freshwater	Slight. brack.
	Campos Novos	10824	1221	14579	Mod. brack.	Slight. brack.	Mod. brack.
	Poço de pedra	5214	251	7380	Mod. brack.	freshwater	Mod. brack.

Table 02: Total Dissolved Solids (TDS) of the water samples collected at the locations.
Source: Authors.

to produce tilapia (DARRE; TOOR, 2018).

It should be considered that the water collection from these systems occurred when the systems' maintenance was impaired due to the paralysis of services performed by public agencies because of the COVID-19 Pandemic. Nevertheless, even during this period, and especially therein (due to the redoubled hygiene care), the population in these and other communities had an even greater need for good quality water, corroborating what was said by Rodrigues et al. (2022).

However, in the seven communities where the permeate contained a concentration of TDS above 1,000 mg L⁻¹, the population has inadvertently employed this product in noble activities, such as human and animal consumption and food preparation, because, although the desalimators in these communities considerably reduced the amount of salt in the well water, the permeate produced in these locations does not present the minimum quality for human consumption, as recommended by the standards and health authorities in Brazil.

This deficiency in salt removal may be related mainly to the quality and time of use of semipermeable membranes since they are mainly responsible for removing salts from water in reverse osmosis desalination (ABEDI et al., 2022; LEON et al., 2021). The absence or low frequency of maintenance and service poor quality may also be related to the low efficiency of the systems and, consequently, the low quality of the water produced by these systems. These salt removal efficiencies analyzed as a function of the ratio between permeate and well water (Tables 1 and 2) based on EC values and TDS concentrations are presented in Table 03.

Municipality	Locality	TDS Efficiency (%)	EC Efficiency (%)
Riacho das Almas	Sítio Chambá	90.75	90.21
	Sítio Trapiá	85.07	86.63
	Pau Ferro	89.64	96.98
	Pau Ferro 2	87.40	93.86
	Centro-Nove Esperança	80.80	81.10
	Pinhões	82.86	96.62
	Camorim 2	82.99	82.80
	Sítio Ramada	81.66	76.89
	Vila Nova	14.74	61.83
	Sítio Caldeirão	41.68	21.01
Cumarú	Sítio Salinas	59.50	94.86
	Assentamento Gavião	82.66	98.34
	Água doce de cima	88.12	97.03
	Campos Novos	88.72	93.01
	Poço de pedra	95.19	88.78

Table 03: Efficiency in salt removal.
Source: Authors.

When comparing the salt removal efficiency (Table 03) with the gross value of the STD concentrations of the permeate (Table 02), it is possible to realize that a large percentage in the removal of salts does not necessarily imply the ideal quality of permeate water for human consumption. In Sítio Chambá, for example, the TDS efficiency was higher than 90%. However, the permeate water still has a TDS of more than 1,000 mg L⁻¹. At the Centro-Nova Esperança site, in turn, an 80% removal efficiency of total dissolved solids generated permeates water with TDS values below 500 mg L⁻¹. Nevertheless, the comparison of efficiencies calculated from EC and TDS shows that the values obtained by EC are, in most communities, higher than those obtained with TDS.

Moreover, only one of the desalters in Vila Nova that had well water salinity below 8,000 mg L⁻¹ did not show efficiency higher than 80% of one of the two calculated options, EC and TDS. This equipment, in turn, had a much lower efficiency than the others, indicating problems with the proper functioning of the system, which may range from the need to change filters to the integrity of the semi-permeable membranes responsible for removing salts from the solution (LEON et al., 2021).

However, salt removal efficiency can serve as a measure of water quality, provided that the well content has a salinity that, depending on the efficiency, produces a permeate with TDS amounts below the MPV of 1,000 mg L⁻¹. For example, for well-water with TDS up to 10,000 mg L⁻¹, a salt removal efficiency of 90% describes the water salt concentration within the MPV.

One solution that can be applied at sites where the TDS concentrations of the permeate are higher than recommended is to subject this permeate water to a new desalination process. Considering that the efficiency of salt removal from the desalter is not affected by the number of salts present in the system's feed water, new desalination in waters that remained with high concentrations of TDS after the first desalination with the same efficiency would be sufficient to bring the water within the proper parameters of potability stipulated by the Ministry of Health of Brazil.

However, a second desalination process implies double the energy required for desalinating these permeate with high TDS content, which represents extra costs to the process. However, despite being a region with low annual rainfall averages and high insolation rates, the Brazilian semi-arid region has a great potential for solar energy generation with photovoltaic cells (ALMEIDA; ALMEIDA, 2021; HAGUENAUER, 2021). In this way, it can be observed that

Municipality	Locality	TDS of the first permeate (mg L-1)	TDS efficiency of the system (%)	TDS of the second permeate (mg L-1)
Riacho das Almas	Sítio Chambá	1098	90.75	102
	Pinhões	1181	82.86	202
	Camorim 2	1638	82.99	279
	Vila Nova	3998	14.74	3409
	Sítio Caldeirão	6273	41.68	3658
Cumaru	Campos Novos	1221	88.72	138

Table 04: TDS of permeate after second desalination.

Source: Authors.

the investment in the installation of photovoltaic systems is an asset that reduces the cost of electricity and contributes to the sustainability of the environment (ALMEIDA; ALMEIDA, 2021).

Table 04, containing the amount of TDS in the permeate waters after new desalination, was created to illustrate how much a second desalination cycle could improve the TDS concentrations of the permeate in communities where the values were above 1000 mg L-1. For this, the efficiency percentage obtained based on the TDS values from the first desalination was considered. In addition, the second desalination considered that the values of the concentrations of total dissolved solids are equal to those of the permeate generated in the first feed cycle of the desalination system, instead of the well water, as in the first phase of the process.

For systems with satisfactory salt removal efficiency above 80%, the second desalination is efficient in making the permeate potable, generating TDS concentrations of the final product well below the MPV and even within the freshwater standard framed by Resolution No. 357 of CONAMA and the Environmental Protection Agency of the EUA (500 mg L-1). However, the two sites with salt removal performance below 50% would not obtain the desired minimum salinity even after the second desalination of the permeate, keeping the TDS values well above the maximum stipulated for consumption.

Therefore, to reduce the TDS concentrations of the permeate to values below 1,000 mg L-1 after this second desalination cycle, a minimum salt removal efficiency of 75% would be necessary for Vila Nova and 84.06% for Sítio Caldeirão. Another way to reach the minimum necessary parameters stipulated by the regulatory agencies in Brazil would be to improve the desalination system to achieve higher efficiencies with a single desalination cycle. Thus, Table 05 presents the minimum efficiency for the systems listed in Table 4 to reach a threshold TDS concentration of 1,000 mg L-1.

Thus, if there were more efficiency in the equipment

Municipality	Locality	Minimum efficiency (%)
Riacho das Almas	Sítio Chambá	91.58
	Pinhões	85.49
	Camorim 2	74.99
	Vila Nova	78.67
	Sítio Caldeirão	90.70
Cumaru	Campos Novos	90.76

Table 05: Minimum efficiency to reach 1,000mg L⁻¹ in STD.

Source: Authors.

that does not currently play its role optimally so that the percentages and efficiency reached those stipulated in Table 05, it would be possible to generate drinking water for noble purposes, such as human and animal consumption and food preparation. For all 15 systems currently operating to reach the maximum TDS for classification as freshwater of 500 mg L-1, according to the CONAMA standards, the minimum efficiencies shown in Table 06 would be necessary.

Municipality	Locality	Minimum efficiency for 500 mg L ⁻¹ (%)
Riacho das Almas	Sítio Chambá	95.79
	Sítio Trapiá	89.75
	Pau Ferro	89.10
	Pau Ferro 2	93.08
	Centro-Nova Esperança	78.28
	Pinhões	92.74
	Camorim 2	94.81
	Sítio Ramada	85.56
	Vila Nova	89.34
	Sítio Caldeirão	95.35
Cumaru	Sítio Salinas	80.34
	Assentamento Gavião	77.48
	Água doce de cima	83.36
	Campos Novos	95.38
	Poço de pedra	90.41

Table 05: Minimum efficiency to reach TDS of 500 mg L⁻¹.

Source: Authors.

Thus, it is necessary to repair and improve these desalters to make them more efficient in removing salts from the brackish water of wells in communities located in the semiarid region of Pernambuco. These improvements

would benefit the population living in the dispersed localities of the states encompassed by the Brazilian semiarid region.

Among the various social needs, including water use and human and animal consumption are the priorities. The dispersed communities in the Brazilian semi-arid region have great difficulty accessing water, regardless of its quality. This difficulty is amplified when accessing water suitable for human consumption (AMARAL; NAVONI, 2023).

Desalination has benefited hundreds of communities in the Brazilian semi-arid region, enabling access to potable water for human consumption. Fifteen desalination plants were in full operation in Pernambuco at the beginning of 2021, treating brackish water from wells in the municipalities of Riacho das Almas and Cumaru. The results of the present study confirm the brackish condition of the water from wells in these municipalities, ranging from slightly to moderately brackish.

3. CONCLUSION

The electrical conductivity is a useful parameter in identifying the presence of salts in water and allows their quantification since there is a proportionality between the numbers of total dissolved solids present in an EC sample. However, it is not sufficient to determine the potability of a water sample unless the relationship between the EC of the salts present in the sample and the salinity it represents in mg L⁻¹ is known. The estimation of salt removal is more reliable if performed from the TDS data of brackish source water and permeates.

In addition, the repeated desalination of already permeate water can further reduce the number of dissolved salts. However, this procedure tends to increase the desalination costs since it requires more electricity to produce quality water and maintenance for the equipment, with early replacement of the membranes. However, investment in frequent maintenance of the systems will likely enable them to produce a permeate of the same quality obtained through a second desalination cycle, thus guaranteeing removal efficiency for a longer period.

Improved equipment maintenance can potentially increase the quality of water offered by systems that currently do not reduce the TDS of the permeate water to at least 1,000 mg L⁻¹.

Furthermore, preventive maintenance not only reduces the cost of desalination but also ensures the proper

functioning of the equipment, increasing its life span.

REFERENCES

Abedi, M. S.; Hashemi, S. H.; Fazeli, M. 2022. Feasibility of Increasing Water Recovery of Inland Reverse Osmosis Systems and the Use of Reject Brine. **Arabian Journal for Science and Engineering**, v. 47, p. 6525-6534.

Almeida, J. P.; Kummer, A. C. B.; Carranza, G.; Campos, L. C.; Széliga, M. R.; Acevedo, M.; Gevarsoni, R.; Wiecheteck, G. K. 2020. Eficiência de um sistema piloto de dessalinização de água salobra. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, n.25, p. 107-114.

Almeida, H. A.; Almeida, E. C. V. 2022. Potential of photovoltaic solar energy in the northeastern semi-arid region. **Lium Concilium**, v. 22, p. 198-210.

Amaral, K. D. S.; Navoni, J. A. 2023. Desalination in rural communities of the Brazilian semi-arid region: Potential use of brackish concentrate in local productive activities. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 169, p. 61-70.

Ashraf, H. M.; Al-Sobhi, S. A.; El-Naas, M. H. 2022. Mapping the desalination journal: A systematic bibliometric study over 54 years. **Desalination**, n. 526, p. 1-17.

Brasil, Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017: Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde, **Anexo XX**, p. 454.

Castro, C. N. 2012. **Gestão das águas: experiências internacional e brasileira**, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Brasília.

Conselho Nacional De Meio Ambiente(CONAMA), **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005**, Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências, Brasília: Diário Oficial da União, 18 de março de 2005.

Cunha, D. P. S.; Pontes, K. V. 2022. Desalination plant integrated with solar thermal energy: A case study for the Brazilian semi-arid. **Journal of Cleaner Production**, v. 310, p. 1-11.

- Darre, N. C.; Toor, G. S. 2018. Desalination of Water: a Review. **Current Pollution Reports**, n. 4, p. 104-1011.
- Filho, W. L.; Totin, E.; Franke, J. A.; Andrew, S. M.; Abubakar, I. R.; Azadi, H.; Nunn, P. D.; Ouweneel, B.; Williams, P. A.; Simpson, N. P. 2022. Understanding responses to climate-related water scarcity in Africa. **Science of The Total Environment**, v. 806, p. 1-18.
- Haguenauer, G. M. 2021. **Fontes renováveis de energia no processo de dessalinização para o abastecimento hídrico em zonas rurais vulneráveis do semiárido brasileiro**. 2021, 143p. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) - Universidade federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Cidades (**IBGE**). Available at: <https://cidades.ibge.gov.br/> (Accessed on: 24th August 2021).
- Jones, E.; Qadir, M.; Van Vliet, M. T. H.; Smakhtin, V.; Kang, S. 2019. The state of desalination and brine production: A global outlook. **Science of The Total Environment**, v. 657, p. 1343-1356.
- Kabir, K. M.; Matin, M. A.; Misran, H.; Amin, N. 2018. Solar photovoltaic assisted cost-efficient brackish water purification system. In: 2018 4th International Conference on Electrical Engineering and Information & Communication Technology (ICEEICT). **IEEE**, pp. 510-513.
- Li, Y.; Thomas, E. T.; Molina, M. H.; Mann, S.; Walker, W. S.; Lind, M. L.; Perreault, F. 2023. Desalination by membrane pervaporation: A review. **Dessalination**, v. 547, p. 1-14.
- Leon, F.; Vaswani, A. R.; Mendieta, J.; Brito, C. S. 2021. Climate Change Mitigation Strategy through Membranes Replacement and Determination Methodology of Carbon Footprint in Reverse Osmosis RO Desalination Plants for Islands and Isolated Territories. **Water**, v. 13, p. 1-17.
- Lopes, T. M. N. 2018. **Caracterização experimental de um dessalinizador de água por membrana poli-mérica**, Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação), 2018, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Moreira, F. S.; Lopes, M. P. C.; Freitas, M. A. V.; Antunes, A. M. D. 2021. Future scenarios for the development of the desalination industry in contexts of water scarcity: A Brazilian case study. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 167, p. 1-9.
- Nunes, K. G.; Raimundo N. T. Costa, R. N. T.; Cavalcante, I. N.; Gondim, R. S.; Lima, S. C. R. V.; Mateos, L. 2022. Groundwater resources for agricultural purposes in the Brazilian semi-arid region. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, p. 915-923.
- Patel, S. K.; Biesheuvel, P. M.; Elimelech, M. 2021. Energy Consumption of Brackish Water Desalination: Identifying the Sweet Spots for Electrodialysis and Reverse Osmosis. **ACS ES&T Engineering**, n. 1, p. 851-864.
- Petersen, K. L.; Paytan, A.; Rahav, E.; Levy, O.; Silverman, J.; Barzel, O.; Potts, D.; Bar-Zeev, E. 2018. Impact of brine and antiscalants on reef-building corals in the Gulf of Aqaba – Potential effects from desalination plants. **Water Research**, n. 144, p. 183-191.
- Regan, P. M.; Kim, H. 2020. Water scarcity, climate adaptation, and armed conflict: insights from Africa. **Regional Environmental Change**, n. 20, p. 1-14.
- Rodrigues, E. A. M.; Coutinho, A. P.; Souza, J. D. S.; Costa, I. R. A.; Neto, S. M. S.; Antonino, A. C. D. 2022. **Rural Sanitation: Scenarios and Public Policies for the Brazilian Semi-Arid Region. Sustainability**, v. 14, p. 1-18.
- Silveira, A. P. P.; Nuvolari, A.; Degasperis, F. T.; Firsoff, W. 2015. **Dessalinização de Águas**, São Paulo: Oficina de texto.
- Stanton, J. S.; Dennehy, K. F. 2017. **Brackish groundwater and its potential to augment freshwater supplies**, US Department of the Interior, US Geological Survey.
- Taha, M.; Al-Sa'Ed, R. 2018. Application potential of small-scale solar desalination for brackish water in the Jordan Valley, Palestine. **International Journal of Environmental Studies**, v. 75, p. 214-225.
- Universidade De São Paulo (USP), **Manual de procedimentos e técnicas laboratoriais voltado para análises de águas e esgotos sanitário e industrial**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2004. Available at: <https://7e0ac9a3-5d91-4907-a147583b32e00e48.filesusr.com/>

ugd/1ecddd_8cac784ef4b645adbb04d80abc54f5e3.pdf
(Accessed on: 20 November. 2020).

AUTHORS

ORCID: 0000-0002-5405-7278

THAMIRIS LESSA DA SILVASIMONE ROSA DA SILVA , Mestre. | Universidade de Pernambuco | Engenharia Civil | Recife, Pernambuco(PE) - Brasil | Correspondência para: R. Benfica, 455 - Recife-PE, 50720-001 | E-mail: lessathamiris@gmail.com

ORCID: 0000-0001-7138-7546

SIMONE ROSA DA SILVA, Doutora. | Universidade de Pernambuco | Engenharia Civil | Recife, Pernambuco(PE) - Brasil | Correspondência para: R. Benfica, 455 - Recife-PE, 50720-001 | E-mail: simonerosa@poli.br

ORCID: 0000-0002-0860-2458

MARCO AURELIO CALIXTO RIBEIRO DE HOLANDA , Doutorando. | Universidade Federal de Pernambuco | Tecnologia Energéticas e Nucleares | Recife, Pernambuco(PE) - Brasil | Correspondência para: Av. Prof. Luiz Freire, 1000 - Recife-PE, 50740-540 | E-mail: marco.calixto@ufpe.br

ORCID: 0000-0003-3268-7241

WILLAMES DE ALBUQUERQUE SOARES , Doutor. | Universidade de Pernambuco | Engenharia Civil | Recife, Pernambuco(PE) - Brasil | Correspondência para: R. Benfica, 455 - Recife-PE, 50720-001 | E-mail: was@poli.br

ORCID: 0000-0002-7317-1885

MANUELLA VIRGÍNIA SALGUEIRO GONDIM , Doutora. | Universidade Federal de Pernambuco | Tecnologias Energéticas e Nucleares | Recife, Pernambuco(PE) - Brasil | Correspondência para: Av. Prof. Luiz Freire, 1000 - Recife-PE, 50740-540 | E-mail: manuella.gondi@ufpe.br

ORCID: 0000-0002-4120-9404

ANTONIOCELSODANTASANTONINO , Doutor. | Universidade Federal de Pernambuco | Tecnologias Energéticas e Nucleares | Recife, Pernambuco(PE) - Brasil | Correspondência para: Av. Prof. Luiz Freire, 1000 - Recife-PE, 50740-540 | E-mail: antonio.antonino@ufpe.br

COMO CITAR ESTE ARTIGO

SILVA, Thamiris Lessa da; SILVA, Simone Rosa da; HOLANDA, Marco Aurelio Calixto Ribeiro de; SOARES,

Willames de Albuquerque; GONDIM, Manuella Virginia Salgueiro; ANTONINO, Antonio Celso Dantas. MIX Sustentável, v. 9, n. 5, p. 17-27, 2023. ISSN 2447-3073. Available at: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Accessed at: [_/_/_](#). doi: <<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n5.17-27>>.

SUBMITTED AT: 27/02/2023

ACCEPTED AT: 15/08/2023

PUBLISHED AT: 31/10/2023

RESPONSIBLE EDITORS: Lisiane Ilha Librelotto e Paulo Cesar Machado Ferroli.

Record of authorship contribution:

CRediT Taxonomy (<http://credit.niso.org/>)

TLS: conceituação, curadoria de dados, investigação, metodologia, visualização, escrita - rascunho original.
SRS: conceituação, metodologia, administração de projetos, supervisão, visualização, escrita - rascunho original, escrita - revisão & edição.

MACRH: análise formal, metodologia, visualização, escrita - rascunho original.

WAS: conceituação, análise formal, metodologia, administração de projetos, supervisão, visualização, escrita - rascunho original, escrita - revisão & edição.

MVSG: curadoria de dados, investigação, metodologia.
ACDA: administração de projetos, supervisão, escrita - revisão & edição.

Declaration of conflict: nothing was declared.

O CAMPO CIENTÍFICO DA SUSTENTABILIDADE: UM ESTUDO BIBLIOMÉTRICO

THE SCIENTIFIC FIELD OF SUSTAINABILITY: A BIBLIOMETRIC STUDY

EL CAMPO CIENTÍFICO DE LA SOSTENIBILIDAD: UN ESTUDIO BIBLIOMÉTRICO

AFONSO MARIA DE ALMEIDA MOREIRA | PUC-Campinas - Pontifícia Universidade Católica De Campinas, Brasil

NILTON LÚCIO JULIÃO | PUC-Campinas - Pontifícia Universidade Católica De Campinas, Brasil

DANIELLA RIBEIRO PACOBELLO | PUC-Campinas - Pontifícia Universidade Católica De Campinas, Brasil

ANDREIA TESSARI | PUC-Campinas - Pontifícia Universidade Católica De Campinas, Brasil

ORANDI MINA FALSARELLA, Dr. | PUC-Campinas - Pontifícia Universidade Católica De Campinas, Brasil

DUARCIDES FERREIRA MARIOSA, Dr. | PUC-Campinas - Pontifícia Universidade Católica De Campinas, Brasil

RESUMO

O principal desafio teórico suscitado aos autores foi saber se há na produção acadêmica elementos que justifiquem reivindicar para o campo científico da sustentabilidade sua independência e autonomia, sendo este seu principal objetivo. Metodologicamente, tratou-se de realizar uma pesquisa de base bibliográfica, de caráter exploratória e descritiva. A técnica utilizada para a coleta de dados, obtenção dos resultados e construção das respostas às questões postuladas foi a do estudo bibliométrico. Neste, o material coligido foi submetido a análise quantitativa, com levantamento das fontes primárias de informação circunscritas aos artigos publicados em periódicos científicos no recorte temporal de 2017 a 2021, compilação dos dados e metadados obtidos em cada fonte e a interpretação dos achados realizadas por meio do software de apoio para análises bibliométricas Bibliometrix. Os resultados do estudo mostraram que os autores, em termos quantitativos, mais produtivos na temática da sustentabilidade são de origem chinesa; verificou-se que Holanda, França, Reino Unido, Brasil, Portugal e Estados Unidos da América também contribuíram decisivamente para compor os 57.748 artigos analisados. Ao analisar as publicações, autores, revistas especializadas, países e instituições é possível sugerir que o campo científico da sustentabilidade já se encontra suficientemente consolidado.

PALAVRAS CHAVE

Sustentabilidade; campo científico; estudo bibliométrico; produção científica.

ABSTRACT

The main theoretical challenge posed to the authors was to find out if there are elements in academic production that justify claiming independence and autonomy for the scientific field of sustainability, which is its main objective. Methodologically, it was a matter of carrying out a bibliographical research, with an exploratory and descriptive character. The technique used for data collection, obtaining results and constructing answers to the posed questions was the bibliometric study. In this, the collected material was subjected to quantitative analysis, with a survey of the primary sources of information circumscribed to articles published in scientific journals in the time frame from 2017 to 2021, compilation of data and metadata obtained from each source and the interpretation of the findings carried out through of the support software for bibliometric analysis Bibliometrix. The results of the study showed that the authors, in quantitative terms, more productive in the theme of sustainability are of Chinese origin; it was found that the Netherlands, France, the United Kingdom, Brazil, Portugal and the United States of America also contributed decisively to compose the 57,748 articles analyzed. By analyzing publications, authors, specialized



magazines, countries, and institutions, it is possible to suggest that the scientific field of sustainability is already sufficiently consolidated.

KEY WORDS

Sustainability; scientific field; bibliometric study; scientific production.

RESUMEN

El principal desafío teórico planteado a los autores fue averiguar si existen elementos en la producción académica que justifiquen reclamar independencia y autonomía para el campo científico de la sustentabilidad, que es su principal objetivo. Metodológicamente, se trató de realizar una investigación bibliográfica, con carácter exploratorio y descriptivo. La técnica utilizada para la recolección de datos, obtención de resultados y construcción de respuestas a las preguntas planteadas fue el estudio bibliométrico. En este, el material recolectado fue sometido a análisis cuantitativo, con levantamiento de las fuentes primarias de información circunscrito a artículos publicados en revistas científicas en el lapso de tiempo de 2017 a 2021, recopilación de datos y metadatos obtenidos de cada fuente e interpretación de los hallazgos se hicieron a través del software de apoyo al análisis bibliométrica Bibliometrix. Los resultados del estudio mostraron que los autores, en términos cuantitativos, más productivos en el tema de la sustentabilidad son de origen chino; se constató que Holanda, Francia, Reino Unido, Brasil, Portugal y Estados Unidos de América también contribuyeron decisivamente para componer los 57.748 artículos analizados. Al analizar publicaciones, autores, revistas especializadas, países e instituciones, es posible sugerir que el campo científico de la sustentabilidad ya está suficientemente consolidado.

PALABRAS CLAVE

Sostenibilidad; campo científico; estudio bibliométrico; producción científica.

1. INTRODUÇÃO

A discussão acerca do impacto das ações antrópicas no ambiente natural ganhou força e vigor a partir dos anos 1970, envolvendo governos, agências multilaterais, organizações públicas, privadas e da sociedade civil preocupados com os riscos, ameaças e com possíveis danos à qualidade de vida de populações e países (COSSO; DO AMARAL; MARIOSA, 2020; LEFF, 2011; SAMPAIO; DE OLIVEIRA, 2019). O tema suscitou, igualmente, diferentes perspectivas conceituais, teóricas e acadêmicas acerca do que é sustentabilidade, desenvolvimento socioambiental e da perspectiva ecossistêmica que, em linhas gerais, a define (LEFF, 2002; MARIOSA; DE BENEDICTO; SUGAHARA, 2019).

Podemos considerar a sustentabilidade a partir de duas abordagens ou dimensões distintas: a que envolve as atividades práticas, de intervenção técnica ou de ciência aplicada; e aquela que trata do conhecimento teórico, da base conceitual, metodológica e dos paradigmas que perpassam os estudos e pesquisas que a tem como objeto (THIOLLENT, 2011). É na intersecção de ambas que temos a especificidade e estrutura do campo científico.

Bourdieu (1975) define campo científico como sendo o espaço de relações socialmente estruturadas em que os agentes disputam entre si posições relevantes em prestígio e reconhecimento dos pares. No campo científico, a pesquisa, produção e reprodução de um conjunto particular de conhecimentos segue parâmetros próprios, ditados pela historicidade das lutas e disputas conceituais, teóricas e, mesmo, técnicas e aplicadas, podendo ser objetivamente analisado, qualitativa e quantitativamente, por indicadores e variáveis bibliométricas e analisadas por seu caráter e implicações sociológicas.

A materialidade do campo científico chega ao observador nas produções do intelecto humano. O pensamento e as reflexões que ele produz têm um objeto concreto em especial, a obra literária. Esta pressupõe a atividade de um sujeito criativo, o autor. Que escreve para um destinatário indefinido, o leitor (CÂNDIDO, 2000). São estas três figuras que se encontram no espaço e tempo da obra literária: o autor, a obra e o leitor. A obra é, assim, um objeto concreto (texto apresentado em livro, revista ou jornal) que é produzida num determinado momento e só produzível naquele determinado momento, trazendo em seu corpo marcas identificadoras tanto da época quanto do autor que a produziu (MARIOSA, 2012). Distinguimos este caráter social de uma obra mediante três elementos que se organizam em múltiplas relações. Na escolha de um

tema, sempre referido a um problema humano, ponto de partida da criação e que é fornecido pelo meio. Na preferência por uma forma, estruturação estetizante (artigo, ensaio, monografia, romance, reportagem, poesia, música) desse problema, adotada pelo autor. E no emprego de uma linguagem, instrumento literário que permite a comunicação entre o escritor e seu público, e que, por isso, participa da natureza comunitária do tema e da natureza individual da forma (ORLANDI, 2009).

Acerca da temática da sustentabilidade, sugere-se que os trabalhos publicados na forma de livros, artigos e comunicações apresentadas em congressos e reuniões científicas formam um conteúdo amplo e robusto acerca do tema sem, contudo, esgotar as possibilidades de novos estudos e aplicações dos conceitos desenvolvidos. Livros, em geral, condensam e solidificam os conceitos e teorias relativos ao campo científico ou da área de conhecimento em questão; os artigos publicados em revistas acadêmicas, qualificadas pelos próprios integrantes do campo, apresentam as discussões teóricas, aplicações práticas e estudos de caso que mostram o “estado da arte” naquele tema em específico; as reuniões científicas, na forma de congressos, seminários, workshops e conferências, as pesquisas em andamento são apresentadas e discutidas entre os pares (FACHIN, 2006; FERREIRA, 2002).

Com a consulta aos repositórios bibliográficos contidos nas bases de dados da Web of Science e Scopus verificou-se que da expressão “sustainability science field” não se deriva resultados significativos. Apenas 05 artigos acadêmicos continham este termo de busca, mas tratando-o de forma indireta. Por sua vez, quando nestas plataformas a pesquisa utilizou o termo “sustainability”, foram mostrados dezenas de milhares de artigos acadêmicos satisfazendo a consulta, porém, de maneira difusa, sem que os reunissem sob uma área do conhecimento intitulada “sustentabilidade” ou qualquer outra denominação semelhante ou de sentido próximo. Diante dessa possível contradição resta-nos saber se as pesquisas em sustentabilidade se encontram suficientemente consolidadas para que, na forma de produção intelectual, as abordagens multidisciplinares, interdisciplinares e transdisciplinares em que se acham inseridas permitam reivindicar o status de campo científico autônomo.

O desafio teórico que se nos apresenta é, portanto, o de encontrar na literatura os elementos que, atualmente, estruturam e configuram o campo científico da sustentabilidade. Ou seja, identificar quais são seus principais autores; quais as principais instituições, universidades e centros de pesquisas em que mais se produzem artigos

sobre a temática; quais são os países originários dos artigos mais citados; quais revistas são as que mais publicam artigos sobre sustentabilidade; e, finalmente, quais palavras, tópicos ou temas são os mais utilizados nos artigos publicados nos últimos cinco anos.

Valendo-se dos recursos fornecidos pela técnica da análise bibliométrica, é objetivo deste trabalho analisar o campo científico da sustentabilidade a partir da produção científica já existente, sublinhando suas principais características e orientações temáticas. Justifica-se o estudo pela necessidade de se oferecer parâmetros tecnocientíficos que subsidiem os debates e a defesa da elevação desta área de pesquisa à condição de um campo do conhecimento científico autônomo e independente das demais áreas do conhecimento.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Propõe-se neste artigo que a estrutura do campo científico, nos termos definidos por Bourdieu (1975), será demonstrada pelos elementos trazidos à reflexão em análise bibliométrica.

Bibliometria é uma técnica que estuda as características quantitativas da produção e da disseminação do conhecimento, além das formas de utilização da informação registrada em bases de dados bibliográficos (CARDOSO et al., 2005). Com esta ferramenta analisa-se a atividade técnica e científica em estudos quantitativos das publicações, calculados por intermédio de diversas técnicas estatísticas com o intuito de quantificar os processos de comunicação escrita (DA SILVA; HAYASHI; HAYASHI, 2011).

A bibliometria surgiu nos anos iniciais do século XX, emergindo do estudo e da avaliação das atividades de produção e comunicação científica, mas as premissas do termo bibliometria foram progredindo em questões de técnicas, aplicações e fundamentos das técnicas bibliométricas (SILVA; HAYASHI; HAYASHI, 2011). Em sua trajetória, conforme descreve Carlos Araújo (2006), os estudos desenvolveram-se, primeiramente, através da formulação de leis empíricas sobre o comportamento da literatura, tais como o método de medição da produtividade de cientistas de Lotka, em 1926; a lei de dispersão de periódicos de Bradford, em 1934; e o modelo de frequência e distribuição de palavras de Zipf, no ano de 1949. Todavia, embora o conceito de bibliometria tenha sido criado ainda em 1934, por Otlet, através do seu "Traité de Documentation", este conceito só alcançou relevância em 1969 devido a um artigo publicado por Pritchard, que obteve ampla aceitação entre os pares (ARAÚJO, 2006).

Dentre as aplicações da bibliometria podem ser mencionadas, por exemplo, a identificação das características temáticas da literatura, a seleção de publicações e livros, o progresso de coleções e bibliografias, entre outras aplicações (CHUEKE; AMATUCCI, 2015). Além disso, a técnica bibliométrica permite também avaliar a qualidade, quantidade e a tipologia das fontes de informação relatadas em pesquisas. A bibliometria produz, ainda, modelos e padrões matemáticos no intuito de medir processos e assim utilizar seus resultados para criar previsões além de sustentar tomadas de decisão (ARAÚJO, 2006).

A análise de citações é a área mais importante da técnica bibliométrica. Tal análise consiste, segundo Carlos Araújo (2006), na descrição e identificação de diversos padrões de produção do conhecimento científico e, com os dados obtidos das citações, é possível descobrir, por exemplo, quais os autores mais citados e mais produtivos, a "elite de pesquisa". Também é possível saber o impacto que tem a publicação em outros autores, a procedência institucional e/ou geográfica dos principais representantes de determinado campo de pesquisa. Bem como saber as frentes temáticas de maior evidência, qual o tipo de documento mais usado, qual a idade média da literatura em questão e obsolescência da literatura. Conforme Silva, Hayashi e Hayashi (2011), a técnica bibliométrica é um dos poucos campos de pesquisa que pode ser dita verdadeiramente interdisciplinar, uma vez que se estende a praticamente todos os domínios científicos, como por exemplo, elementos da Matemática, Ciências Naturais, Ciências Sociais, Ciências da Vida e Engenharia.

3. METODOLOGIA

Trata-se o presente texto de uma pesquisa bibliográfica, de caráter exploratório e descritivo (CRESWELL; CLARK, 2015). A técnica utilizada para obtenção dos resultados e, com isso, a construção das respostas às questões postuladas consistiu da análise quantitativa fornecida pelo referencial temático, utilizando-se bases de dados bibliográficos referenciais; levantamento das fontes primárias de informação com foco em artigos de periódicos no recorte temporal de 2017 à 2021; compilação dos dados e metadados obtidos em cada fonte; e, por fim, a interpretação dos resultados através do software de apoio para análises bibliométricas, o "Bibliometrix" (DONTU et al., 2021).

Em razão da reconhecida qualidade e aceitação da comunidade acadêmica, foram selecionadas as bases internacionais "Web of Science" e "Scopus" para o levantamento dos dados (OLIVEIRA, 2019).

Inicialmente foram identificados 2.000 artigos de cada uma das bases informadas, respeitando-se o número mínimo de 53 citações recebidas, sendo os documentos obtidos na Scopus mais significativos em quantidade de citações.

Como critério de elegibilidade, foi considerado índice H. Proposto por Jorge E. Hirsch, é um indicador qualitativo que tem por base o número de citações recebidos pelo número de artigos publicados e representa um ponto de equilíbrio entre a produtividade e o impacto de citação de uma fonte em questão (THOMAZ; ASSAD; MOREIRA, 2011).

Com a ferramenta de análise colaborativa “Rayyan” (OUZZANI et al., 2016), foram evidenciados 1700 artigos em duplicidade, optando-se por usar exclusivamente a base de dados Scopus. O desenho da pesquisa pode ser observado, graficamente, na Figura 01.

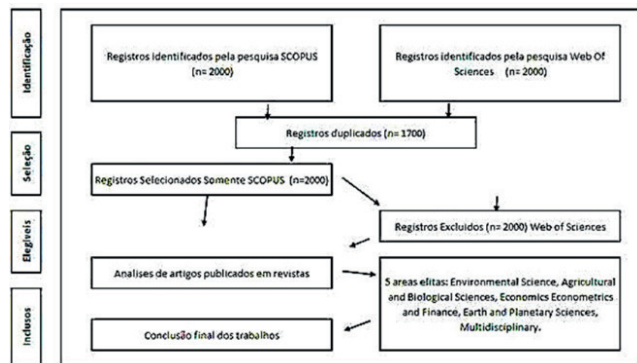


Figura 01: Desenho da metodologia.
Fonte: Adaptado de Mariosa et al., 2020.

Acessando a base de dados Scopus, primeiramente, foi pesquisada a palavra-chave “Sustainability”, considerando os artigos publicados nos anos de 2017, 2018, 2019, 2020 e 2021, no idioma inglês. Com este recorte, a pesquisa resultou em 144.557 artigos.

Com os dados selecionados, definiu-se que as áreas de conhecimento prioritárias seriam aquelas mais próximas à palavra-chave utilizada: Environmental Science; Agricultural and Biological Sciences; Economics, Econometrics and Finance; Earth and Planetary Sciences, Multidisciplinary. Utilizando as ferramentas de inclusão e exclusão da base, nesta delimitação o total encontrado foi reduzido para 79.956 artigos.

Em seguida, foi definido que somente artigos publicados em revistas de conhecimento acadêmico seriam considerados e, destas, seriam selecionados somente os artigos publicados em revistas com revisão de pares, o que confere maior confiabilidade e credibilidade aos documentos. Após esta definição, foram encontrados um

total de 57.748 artigos, os quais foram colocados em ordem decrescente por citação recebida.

A seguir, tabela 01 representa a distribuição de artigos por área do conhecimento.

Área de estudo	Número de artigos	%
Environmental Science	42.483	72,8
Social Science	23.837	40,8
Energy	19.668	33,7
Agricultural, and Biological Sciences	14.339	24,6
Business, management and accounting	7.859	13,5
Engineering	7.813	13,4
Economic, Econometric and Finance	7.737	13,3
Earth and Planetary Sciences	4.678	8,0
Biochemistry Genetics, and Molecular Biology	1.834	3,1
Medicine	1.498	2,6

Tabela 01: Distribuição de trabalhos por área de conhecimento.
Fonte: Autores.

O recurso ao número de citações para ordenar os artigos deve-se ao fato, considerado pelos autores, de que um maior número de citações cria em relação ao artigo uma maior probabilidade de reconhecimento dos pares e, por conseguinte, sua adequação aos parâmetros teóricos, metodológicos e epistemológicos definidos como padrão para o campo da sustentabilidade. Com este critério obteve-se uma amostra representativa de artigos a serem analisados, totalizando 2.000 artigos. Dispostos por quantidade de citações, em ordem decrescente, o artigo com maior número de citações teve 1059 e o artigo na colocação 2000ª recebeu 53 citações.

4. RESULTADOS

Aos estudos bibliométricos apresentados neste estudo

foram aplicadas três leis empíricas, cujos resultados permitem analisar o comportamento da literatura. Como descrito por Tague- Sutcliffe (1992), para o estudo sobre os autores, o método empregado foi o da medição da produtividade de cientistas, segundo a lei de Lotka; a dispersão do conhecimento científico proposto pela lei de Bradford foi usada para identificar as principais Instituições, Universidades e Centros de pesquisas, países originários e as revistas que publicam os artigos mais citados; e, para estabelecer as palavras, tópicos e temas relevantes foi usado o modelo de distribuição e frequência de palavras num texto, previsto pela lei de Zipf.

A análise bibliométrica dos artigos selecionados para o presente estudo produziu os resultados descritos a seguir

4.1. Estudo sobre os autores

O resultado obtido pela pesquisa revela predominância de autores de origem asiática nos trabalhos avaliados. O principal e mais relevante autor é Liu Y., que aparece com 30 trabalhos inseridos no recorte que a pesquisa utilizou. Em seguida, destaca-se o autor Wang X., com 27 artigos; Zhang Y., com 25 artigos; Wang Y., com 24 artigos; e, entre 19 artigos e 12 artigos publicados figuram os autores Wang J., Wang Z., Zhang J., Zhan X., Liu X. e Sarkodie S.A.

Traduzindo-se a estrutura do campo científico da sustentabilidade por aquilo que nos revela essa amostragem, destaca-se o grande investimento realizado pela China em apoio a seus cientistas. Além dos valores financeiros, equipamentos e dos recursos humanos qualificados necessários para a realização das pesquisas, em geral, as revistas que figuram na base de dados da Scopus chegam a cobrar até 3.000 dólares americanos por publicação. Assim, os autores dos artigos aqui avaliados mostram claramente que a pesquisa científica depende de investimentos e que tais investimentos são traduzidos na quantidade de artigos escritos, o que determina os referenciais teóricos e metodológicos privilegiados nos campos científicos em que os autores estão inseridos.

4.2. Principais instituições, universidades e/ou centros de pesquisa dos autores

As Instituições responsáveis pelo suporte aos pesquisadores que tiveram seus artigos selecionados foram identificadas dentro do programa de metadados Scopus, analisando-se um total de 57.748 artigos. Dos artigos selecionados, foram levantadas as principais Instituições que mais se destacaram no apoio à publicação de artigos. A

seguir, na Tabela 02, estão elencadas as 10 principais instituições que se destacam no quesito apoio e publicação de artigos.

Principais instituições	Países	Número de artigos
Chinese Academy of Science	China	1.248
Wageningen University & Research	Holanda	678
University Chinese Academy of Science	China	599
Ministry of Education China	China	564
Centre National de la Recherche Cientifique	França	459
Beijing Normal University	China	403
Universidade de São Paulo	Brasil	399
Universidade de Lisboa	Portugal	341
Institute of Geography Sciences and Natural Research, Chinese Academy of Science	China	318
Arizona State University	Estados Unidos	313

Tabela 02: Instituições mais representativas na pesquisa sobre sustentabilidade.
Fonte: Elaborado pelos autores.

A Tabela 02 mostra novamente a China ocupando os primeiros lugares: a Chinese Academic of Sciences, com 1.248 artigos apoiados, a Wageningen University & Researchy, da Holanda, com 678 artigos; e a University of Chinese Academy of Sciences com 599 artigos. Positivamente, cabe ressaltar a presença do Brasil, com a Universidade de São Paulo entre as instituições mais produtivas. Pesquisadores a ela vinculados colocaram 399 textos entre os mais citados envolvendo o tema da sustentabilidade.

4.3. Países originários dos artigos mais citados

Dentro do universo de 57.748 artigos analisados na Base de Dados Scopus, Estados Unidos da América, com 9.057 citações, China, com 8.366, e Reino Unido, com 4.753, são os países que concentram a maior quantidade de citações. O Brasil, ainda que tenha se mostrado relevante para as ações vinculadas à sustentabilidade ambiental, aparece ocupando a nona posição no quadro de principais países, com 2896 citações. Na tabela 3, coloca-se em destaque os 10 principais países em número de citações de artigos.

Principais Países	Número de citações
Estados Unidos	9.057
China	8.366
Reino Unido	4.753
Itália	4.419
Espanha	4.244
Alemanha	3.413
Austrália	3.135
Índia	2.927
Brasil	2.896
Canadá	2.299

Tabela 03: Países originários dos autores e número de citações recebidas.
Fonte: Elaborado pelos autores.

Isso mostra, uma vez mais, que a relevância do campo científico depende de investimentos diretos nas pesquisas e publicações. Embora o Brasil tenha a maior área verde contínua do mundo, que é a floresta Amazônica, hoje o principal conjunto florestal em termos de área territorial ocupada e o maior sequestrador de carbono após as algas marinhas, estudos que a envolvem poderiam gerar muito material a ser discutido na comunidade acadêmica, com pesquisadores nacionais e estrangeiros.

4.4. Principais revistas

Para a composição da Tabela 04 foram elencadas as revistas que mais se destacaram na publicação de artigos acadêmicos com o tema da sustentabilidade, sendo as mais relevantes para a área do conhecimento as revistas Journal of Cleaner Production, com 458

artigos publicados no período analisado; seguida pela Sustainability (Switzerland), com 147 artigos, e a Science of the Total Environment, com 122 artigos.

Principais revistas	Editores e Países	Número de artigos
Journal of Cleaner Production	Elsevier (Estados Unidos da América)	458
Sustainability (Switzerland)	MDPI (Suíça)	147
Science of the Total Environment	Elsevier (Holanda)	122
Resources Conservation and Recycling	Elsevier (Holanda)	72
Business Strategy and the Environment	John Wiley and Sons (Reino Unido)	48
Applied Energy	Elsevier (Reino Unido)	42
Journal of Environmental Management	Academic Press Inc. (Estados Unidos da América)	36
Journal of Business Ethics	Springer (Holanda)	30
Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA	National Academy of Sciences - NAS (Estados Unidos da América)	30
International Journal of Production Economics	Elsevier (Holanda)	29

Tabela 04: Revistas com maior número de artigos publicados.
Fonte: Elaborado pelos autores com base na compilação de dados do Bibliometrix.

Cabe observar, todavia, o domínio dos grupos editoriais que controlam a produção acadêmica. Elsevier, MDPI, John Wiley and Sons e Springer transformaram a disseminação do conhecimento e do saber científico num negócio lucrativo, dado o caráter econômico com o qual se sobressaem nas ações editoriais. Definindo critérios do que publicar, como, quando, de quem e quanto cobrar pelos serviços de intermediação impedem que pesquisadores atuando em países situados fora do eixo Europa-Estados Unidos da América tenham seus trabalhos publicados e discutidos pela comunidade acadêmica (OLIVEIRA, 2019).

4.5. Palavras, tópicos e temas relevantes

As palavras mais citadas nos artigos acadêmicos selecionados não poderiam deixar de ser aquelas vinculadas aos critérios de seleção utilizados na busca. Sustainability, com 3.127 ocorrências, Environmental, com 2.076, e Sustainable, com 1.179, conforme pode-se observar na Tabela 05.

Principais Palavras	Número de ocorrências
Sustainability	3.127
Environmental	2.076
Sustainable	1.779
Study	1.550
Energy	1.484
Results	1.185
Research	1.156
Development	1.136
Water	1.029
Management	1.015

Tabela 05: Frequência das palavras e termos mais utilizados nas publicações, período 2017-2021.
Fonte: Elaborado pelos autores com base na compilação de dados do Bibliometrix.

É importante observar, também, que entre as palavras mais citadas, conforme apresentadas na Tabela 05, pode-se destacar alguns temas em ascensão e que, muito provavelmente, guiarão as pesquisas sobre sustentabilidade nos próximos anos. Da sustentabilidade ambiental, que caracterizou os primeiros textos e mais fortemente as discussões acadêmicas, emergem temas como energia, desenvolvimento, água e gestão. Estas palavras-chave

constituem-se no eixo das preocupações da atualidade, exigindo respostas da academia, dos agentes públicos e privados e das organizações da sociedade civil que as implementem.

5. CONCLUSÕES

O desafio teórico proposto aos autores deste artigo foi o de encontrar na literatura acadêmica, números, elementos ou indicativos que permitam estruturar e configurar o campo científico da sustentabilidade, de forma independente e autônoma em relação às áreas do conhecimento já consolidadas. Ousadamente, sugere-se que a sustentabilidade é, em si mesma, uma ciência, a Ciência da Sustentabilidade.

Para demonstrar que a sustentabilidade caminha na direção de tornar-se um campo científico e particular de pesquisas recorreu-se, metodologicamente de forma exploratória e descritiva, à análise bibliométrica. Examinou-se as características quantitativas da produção de artigos e da disseminação do conhecimento em bases bibliográficas de reconhecida qualidade por parte da comunidade acadêmica. Aplicou-se ao conjunto de artigos selecionados as três principais leis dos estudos bibliométricos, as leis de Bradford, Zipf e Lotka.

Os resultados do estudo mostram que os autores, em termos quantitativos mais produtivos na temática da sustentabilidade são de origem chinesa, publicando entre 20 e 30 trabalhos cada autor, nas revistas mais bem avaliadas da área, apenas nos últimos 05 anos. Muito embora, entre as instituições responsáveis pelo suporte aos pesquisadores que tiveram seus artigos selecionados, tenhamos predominantemente as chinesas, verifica-se que Holanda, França, Reino Unido, Brasil, Portugal e Estados Unidos da América também contribuíram decisivamente para compor os 57.748 artigos analisados. Todavia, num resumo dos principais países originários dos artigos mais citados na Base de Dados Scopus, Estados Unidos da América e China se destacam, e não por acaso. O volume de artigos publicados pelos autores destes países mostra que se a pesquisa científica depende de investimentos, também, contribui para a fixação dos referenciais teóricos e metodológicos que configuram o campo científico. Não há como falar de sustentabilidade sem citá-los.

Dentre as principais revistas que concentram a temática da sustentabilidade em seus artigos destacam-se periódicos pertencentes aos grandes grupos editoriais que controlam a produção acadêmica mais significativa das diversas áreas do conhecimento. Pesquisar, publicar ou

consultar o que de melhor ou mais atual já foi publicado só é possível mediante elevados investimentos financeiros em assinaturas, taxas de publicação ou de acesso aos títulos de propriedade da Elsevier, MDPI, John Wiley and Sons ou Springer. Além da visão mercadológica e empresarial que as envolvem, elas também definem, em suas políticas editoriais, temas, discussões teóricas e metodológicas que serão privilegiados e os artigos aceitos para publicação. De modo que para conhecer as características, processos e referenciais do campo científico da sustentabilidade há que se examinar, em pesquisas e estudos complementares, as estratégias, recursos epistemológicos e os critérios que validam este tipo de conhecimento ou, ainda, que impedem o acesso de pesquisadores fora do eixo Europa-Estados Unidos da América.

Os autores consideram que a técnica da análise bibliométrica aqui empregada permitiu analisar os elementos mais importantes do campo científico da sustentabilidade. Ainda que a base de dados tenha sofrido um recorte temporal, linguístico e quanto às bases pesquisadas, sendo este seu principal limite e dificuldade de generalização, conclui-se pela conveniência da elevação desta área de pesquisa à condição de um campo do conhecimento científico autônomo e independente das demais áreas do conhecimento. Sugere-se, todavia, a ampliação da pesquisa e a confirmação dos resultados aqui apresentados com outros recortes e bases de dados.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, ao qual os autores agradecem o apoio institucional e financeiro.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, C. A. A. Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. **Em questão**, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 11-32, Jan./Jun. 2006. Disponível em: <https://www.seer.ufrgs.br/emquestao/article/view/16>. Acesso em: 10 mai. 2022.

BOURDIEU, P. The specificity of the scientific field and the social conditions of the progress of reason. **Social Science Information**, v. 14, n. 6, p. 19–47, 1975. DOI: 10.1177/053901847501400602.

CÂNDIDO, A. **Literatura e sociedade: estudos de teoria e história literária**. São Paulo: T. A. Queiróz, 2000.

CARDOSO, R. L. et al. Pesquisa científica em contabilidade entre 1990 e 2003. **Revista de Administração de Empresas**, v. 45, n. 2, p. 34-45, Jun. 2005. <https://doi.org/10.1590/S0034-75902005000200004>. Acesso em: 03 ago. 2022.

CHUEKE, G. V.; AMATUCCI, M. O que é bibliometria? Uma introdução ao Fórum. **Internext**, v. 10, n. 2, p. 1–5, 2015. DOI: 10.18568/1980-4865.1021-5. Disponível em: <https://internext.espm.br/internext/article/view/330>. Acesso em: 8 ago. 2022.

COSSO, S. P. de A.; DO AMARAL, P. S.; MARIOSIA, D. F. As mudanças do clima e os desafios da gestão dos recursos hídricos nas Bacias do PCJ. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 16, n. 5, 2020.

CRESWELL, J. W.; CLARK, V. L. P. **Pesquisa de Métodos Mistos: Série Métodos de Pesquisa**. Porto Alegre: Penso Editora, 2015.

DONTHU, N. et al. How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. **Journal of Business Research**, [S. l.], v. 133, p. 285–296, 2021. DOI: 10.1016/j.jbusres.2021.04.070. Acesso em: 03 ago. 2022.

FACHIN, O. **Fundamentos de metodologia**. São Paulo (SP): Saraiva, 2006.

FERREIRA, N. S. A. de. As pesquisas denominadas “estado da arte”. **Educação & Sociedade**, v. 23, n. 79, p. 257–272, 2002. DOI: 10.1590/S0101-73302002000300013. Acesso em: 03 ago. 2022.

LEFF, E. Complexidade, interdisciplinaridade e saber ambiental. **Olhar de Professor**, v. 14, n. 2, p. 309–335, 2011. DOI: 10.5212/OlharProfr.v14i2.0007. Acesso em: 03 ago. 2022.

MARIOSIA, D. F. Florestan Fernandes: textos e contextos. Em: SILVA, J. P.; AZEVEDO, C. M. M. (org.). **Sociologia crítica no Brasil. Coleção Crítica contemporânea** 1ª edição ed. São Paulo, SP, Brasil: Annablume, 2012. p. 117–154.

MARIOSIA, D. F.; DE BENEDICTO, S. C.; SUGAHARA, C. R.

Study on the sustainable indicators and research methodology in the context of the sustainable development reserve of Tupé, Amazonas-Brazil. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 8, n. 3, 2019.

MARIOSIA, D. F., MORAIS, L. P., ÁLVAREZ, J. F., POLITTI, F., CONDE, M. Á. A., & VALENCIA, A. M. S. (2022). Does the social and solidarity economy contribute to the reach and accomplishment of the sustainable development goals? A systematic literature review. **International Journal of Innovation and Sustainable Development**, 16(3-4), 538-555.

OLIVEIRA, T. As políticas científicas na era do conhecimento: uma análise de conjuntura sobre o ecossistema científico global. **Perspectivas em Ciência da Informação**, v. 24, n. 1, p. 191-215, 2019. DOI: 10.1590/1981-5344/3520. Acesso em: 03 ago. 2022.

ORLANDI, E; P. Análise de discurso: princípios e procedimentos. Em: **Análise de discurso: princípios e procedimentos**. Campinas-SP: Pontes, 2009.

OUZZANI, M.; HAMMADY, H.; FEDOROWICZ, Z.; ELMAGARMID, A. Rayyan—a web and mobile app for systematic reviews. **Systematic reviews**, v. 5, n. 1, p. 1-10, 2016.

SAMPAIO, J. A. L.; DE OLIVEIRA, E. R.. A justiça espacial e ambiental e a teoria do risco: a responsabilidade do governo na prevenção contra desastres (no Brasil). **Revista de Direito Internacional**, Brasília, v. 16, n. 2, 2019. DOI: 10.5102/rdi.v16i2.6129. Acesso em: 03 ago. 2022.

SILVA, M. R.; HAYASHI, C.R.M.; HAYASHI, M. C. P. I. Análise bibliométrica e cientométrica: desafios para especialistas que atuam no campo. InCID: **revista de ciência da informação e documentação**, Ribeirão Preto, v. 2, n. 1, p. 110-129, Jan./Jun. 2011. Disponível em: <https://revistas.ffclrp.usp.br/incid/article/view/52/pdf>. Acesso em: 10 mai. 2022.

TAGUE-SUTCLIFFE, J. An introduction to informetrics. **Information Processing & Management**, v. 28, n. 1, p. 1-3, 1992. DOI: 10.1016/0306-4573(92)90087-G. Acesso em: 03 ago. 2022.

THIOLLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação**. São Paulo: Cortez, 2011.

THOMAZ, P. G.; ASSAD, R. S.; MOREIRA, L. F. P. Uso do Fator de impacto e do índice H para avaliar pesquisadores e publicações. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia** [online]. v. 96, n. 2, pp. 90-93. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0066-782X2011000200001>. Acesso em: 03 ago. 2022.

AUTORES

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3088-9416>

AFONSO MARIA DE ALMEIDA MOREIRA, Mestrando | Pontifícia Universidade Católica de Campinas | Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Sustentabilidade | Campinas, SP – Brasil | Correspondência para: R. Jovial, 295 - Vista Alegre, Vinhedo – SP, 13285-064 | orandi.falsarella@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3937-1864>

DANIELLA RIBEIRO PACOBELLO, Mestranda | Pontifícia Universidade Católica de Campinas | Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Sustentabilidade | Campinas, SP – Brasil | Correspondência para: AV Capitão Joaquim Rabelo de Andrade, 209 – Centro, São Sebastião da Gramma – SP, 13790-000 | danix_pacobello@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7970-390X>

NILTON LÚCIO JULIÃO, Mestrando | Pontifícia Universidade Católica de Campinas | Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Sustentabilidade | Campinas, SP – Brasil | Correspondência para: R. João Ricete, 155 - Hélio Vergueiro Leite, Espírito Santo do Pinhal – SP, 13990-000 | orandi.falsarella@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3042-734X>

ANDREIA TESSARI, Mestranda | Pontifícia Universidade Católica de Campinas | Faculdade de Biblioteconomia | Campinas, SP – Brasil | Correspondência para: R. Dr. Gastão Vidigal, 265 - Jardim Aurélia - 13033-030. tessandreia.ri@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2200-5094>

ORANDI MINA FALSARELLA, Doutor | Pontifícia Universidade Católica de Campinas | Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Sustentabilidade | Campinas, SP – Brasil | Correspondência para: R. Pequi, 159 – Alphaville, Campinas – SP, 13098-305 | orandi.falsarella@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6552-9288>

DUARCIDES FERREIRA MARIOSIA, Doutor | Pontifícia Universidade Católica de Campinas | Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Sustentabilidade | Campinas, SP – Brasil |

Correspondência para: R. Antônio Elias, 189 – Jardim Alzira,
Pedreira – SP, 1392-000 | duarcides@gmail.com

COMO CITAR ESTE ARTIGO

JULIÃO, Nilton Lúcio; MOREIRA, Afonso Maria de Almeida; PACOBELLO, Daniella Ribeiro; TESSARI, Andreia; FALSARELLA, Orandi Mina; MARIOSIA, Duarcides Ferreira.. MIX Sustentável, v. 9, n. 5, p. 29-39, 2023. ISSN 2447-3073. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: [_/_/_doi: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n5.29-39>](https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n5.29-39).

SUBMETIDO EM: 17/01/2023

ACEITO EM: 16/08/2023

PUBLICADO EM: 31/10/2023

EDITORES RESPONSÁVEIS: Aguinaldo dos Santos e Lisiane Ilha Librelotto.

Registro da contribuição de autoria:

Taxonomia CRediT (<http://credit.niso.org/>)

AMAM: Curadoria de dados, análise formal, escrita - rascunho original.

DRP: Curadoria de dados, análise formal, escrita - rascunho original.

NLJ: Curadoria de dados, análise formal, escrita - rascunho original.

AT: Curadoria de dados, análise formal, investigação, metodologia, escrita - rascunho original.

OMF: conceituação, análise formal, metodologia, administração de projetos, validação, visualização, escrita - revisão & edição.

DFM: conceituação, análise formal, investigação, metodologia, administração de projetos, supervisão, validação, escrita - revisão & edição.

Declaração de conflito: nada foi declarado.

MANUFACTURE OF BRIQUETTES WITH URBAN PRUNING RESIDUES

FABRICAÇÃO DE BRIQUETES COM RESÍDUOS DE PODA URBANA

FABRICACIÓN DE BRIQUETAS A PARTIR DE RESIDUOS DE PODA URBANA

NAYARA GUETTEN RIBASKI, MSc. | UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil.

UGO LEANDRO BELINI, DR. | UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil.

CARLOS ROBERTO SETTE JUNIOR, DR. | UFG - Universidade Federal de Goiás, Brasil.

ANNA CLARA CHAVES RIBEIRO | UFG - Universidade Federal de Goiás, Brasil.

ENZO AURÉLIO BARUFF DE BRITO E CUNHA | UFG - Universidade Federal de Goiás, Brasil.

ANDRÉ CHRISTIAN KEINERT, MSc. | UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil.

ABSTRACT

The residues generated from urban pruning are not used in the best way when taking into account the factor of adding value to the final product, as they are biomass in a context of urban natural capital. Thus, the objective of this work was to use urban pruning residue (UPR) generated in the urban area of Curitiba, Paraná, for the production of briquettes and characterization of quality and energy potential. The compaction of the UPR biomass was carried out in a laboratory briquette machine, with a temperature of 120°C, with a pressure of 1200 Kgf.cm⁻², compaction time of 5 minutes and cooling of 10 minutes with forced ventilation. For each briquette, 40 g of residue was used, resulting in a final briquette of approximately 4 cm in height and 3 cm in diameter. The tests carried out had the purpose of verifying the characteristics of the biomass and quality aspects of the briquettes, in accordance with current regulations. The main results obtained indicate the UPR with average values for ash content of 3.4%, volatile materials 78.5% and fixed carbon 18.1%. As for the briquettes, an average moisture content of 7.6%, higher calorific value (PSC) of 4417 Kcal/g, bulk density (DG) of 21.05 MJ/m³, friability of 99.8% and tensile strength per diametral compress (RTCD) of 704.9 kgf, placing the briquettes in Group 1, of better quality, according to the Swedish standard SS187120. Also, the residues generated in the sawmilling of wood employees in this study can be used directly for the production of briquettes, without the need for processing, such as crushing and grinding, generating the costs associated with its energy use.

KEYWORDS

Energy; Urban Forest; Use.

RESUMO

Os resíduos oriundos de podas urbana não são aproveitados da melhor maneira quando se leva em consideração o fator de agregar valor ao produto final. O objetivo do trabalho foi utilizar o resíduo de poda urbana (RPU) gerados no meio urbano de Curitiba, Paraná, para a produção de briquetes. A compactação da biomassa dos RPU foi realizada em uma briquetadeira laboratorial, com temperatura de 120°C, com pressão de 1200 Kgf.cm⁻², tempo de compactação de 5 minutos e resfriamento de 10 minutos com ventilação forçada. Para cada briquete utilizou-se 40 g de resíduo, obtendo um briquete final de aproximadamente 4 cm altura e 3 cm de diâmetro. Os ensaios realizados tiveram como propósito verificar se os briquetes fabricado podem ser utilizados como fonte de energia. Eles foram: teor de umidade (U%), poder calorífico superior (PCS), densidade a granel (DG), densidade aparente (DA), durabilidade (Dur), expansão volumétrica, resistência a tração por compressão diametral (RTCD) e análise granulométrica. De acordo com os resultados obtidos,



os resíduos gerados no desdobro da madeira utilizados neste estudo podem ser utilizados diretamente para a produção de briquetes, sem a necessidade de processamento, como trituração e moagem, reduzindo os custos associados ao seu aproveitamento energético.

PALAVRAS-CHAVE

Ensaio; Floresta Urbana; Aproveitamento.

RESUMEN

Los residuos de la poda urbana no se aprovechan de la mejor manera si se tiene en cuenta el factor de valorización del producto final, ya que son biomasa en un contexto de capital natural urbano. Así, el objetivo de este trabajo fue utilizar residuos de poda urbana (UPR) generados en el medio urbano de Curitiba, Paraná, para la producción de briquetas y caracterización de calidad y potencial energético. La compactación de la biomasa UPR se realizó en una briquetadora de laboratorio, con una temperatura de 120°C, con una presión de 1200 Kgf.cm⁻², tiempo de compactación de 5 minutos y enfriamiento de 10 minutos con ventilación forzada. Para cada briqueta se utilizaron 40 g de residuo, obteniendo una briqueta final de aproximadamente 4 cm de altura y 3 cm de diámetro. Los ensayos realizados tuvieron como finalidad verificar características de la biomasa y aspectos de calidad de las briquetas, de acuerdo con la normativa vigente. Los principales resultados obtenidos indican la UPR con valores promedio para contenido de cenizas de 3.4%, materiales volátiles 78.5% y carbón fijo 18.1%. En cuanto a las briquetas, un contenido de humedad promedio de 7.6%, poder calorífico superior (PSC) de 4417 Kcal/g, densidad aparente (DG) de 21.05 MJ/m³, friabilidad de 99.8% y resistencia a la tracción por compresión diametral (RTCD) de 704,9 kgf, ubicándose las briquetas en el Grupo 1, de mejor calidad, según la norma sueca SS187120. Asimismo, los residuos generados en el aserrado de la madera utilizada en este estudio pueden ser utilizados directamente para la producción de briquetas, sin necesidad de procesamiento, como trituração y molienda, reduciendo los costos asociados a su uso energético.

PALABRAS CLAVE

Energía; Bosque Urbano; Explotación.



1. INTRODUCTION

Briquettes are considered a form of densified fuel that can offer intriguing opportunities within the realm of renewable energy development, coupled with sustainability aspects. Currently, the vast majority of globally produced briquettes are derived from wood and/or wood waste, yet strong trends are emerging towards the utilization of various biomass residues and particularly blends of waste and wood components (SANTOS et al., 2022).

The utilization of such products exhibits a reduced environmental footprint when compared to traditional fossil fuels like coal, oil, and natural gas. Briquettes are regarded as a source of renewable energy, as they are produced from abundantly available organic materials, consequently bestowing economic benefits.

Energy stands as a pivotal factor in the economic and social advancement of a country, and according to estimates from the International Energy Agency (IEA, 2011), global energy consumption will rise by at least a third between 2010 and 2035 (CASTRO & RODRIGUES, 2023).

Numerous countries have adopted policies and programs to promote the use of briquettes as a sustainable alternative. International organizations, exemplified by the United Nations Development Programme (UNDP, 2023) and the World Bank, have endorsed briquette production projects as part of their clean energy and sustainable development initiatives. Brazil's energy matrix is considered one of the cleanest in the world, consisting of 48.4% renewable sources (FORTES, 2022). The global average, considering other countries, stands at around 13.8% (NATIONAL ENERGY BALANCE, 2021).

Briquette production offers various avenues to harness different materials as biomass feedstock. Some of the materials commonly used in briquette production include agricultural, forestry, industrial, biomass processing residues, animal-derived waste, among others.

Emerging possibilities for using diverse materials in briquette production must be intricately linked to specific properties, such as high calorific value, low ash content, and minimal generation of fines (STÅHL & BERGHEL, 2011). Consequently, the production and characterization of briquettes composed of novel feedstock materials should constitute a foundational step in the scope of prospective studies for energy recovery from waste.

In this context, the primary aim of this research was to fabricate briquettes from Residues of Urban Production (RPU) for energy purposes, and to assess the qualitative properties and calorific value of the novel material.

2. LITERATURE REVIEW

Urban landscaping holds significance for cities not solely due to its aesthetic appeal, but also due to the ecosystem services it provides, such as oxygen production, reduction of air pollution, climate regulation, and mitigation of urban noise. Maintenance of urban landscapes necessitates urban pruning, a common practice in cities worldwide. This involves the removal of diseased, damaged, or otherwise compromised parts of trees. This activity can generate a substantial amount of plant waste that, if not managed appropriately, can result in environmental issues such as soil and water pollution. Hence, the utilization of Urban Production Residues (RPU) is a practice gaining increasing importance, fostering sustainability in urban areas (GENGO & HENKES, 2012; GUSEV et al., 2023; RIBASKI et al., 2023).

The utilization of such collected material can serve purposes beyond waste reduction and resource conservation. It can generate jobs and income for the local populace (CASTRO & RODRIGUES, 2023). Waste collection and processing can be undertaken by waste picker cooperatives and other local organizations, which can sell the final products to businesses and consumers. This initiative contributes to reducing the volume of waste sent to landfills and promotes the concept of circular economy, which emphasizes more efficient resource utilization.

An example of a product derived from RPU is wood-plastic composite, which finds use in furniture, decks, and similar applications. According to Duarte et al. (2017), utilizing RPU for producing such composites is a viable and sustainable alternative, as it curbs the demand for virgin wood and helps reduce waste sent to landfills.

Another prospect is the utilization of RPU in briquette production, where fuel blocks are compressed from waste materials. Oliveira et al. (2016) posit that producing briquettes from RPU offers an economical and sustainable alternative for thermal energy generation. This aids in reducing dependence on fossil fuels and lessening waste sent to landfills.

2.1. Briquettes

Briquettes represent a method of producing and storing energy from combustible materials such as wood, sawdust, wood chips, charcoal, sugarcane bagasse, and other lignocellulosic biomass. They are solid products, resembling small blocks, generated through the compression of organic and/or inorganic residues, generally without

the addition of chemical substances. These materials are compressed under high pressure to form a dense and sturdy structure with a high calorific value. Briquettes exhibit higher efficiency compared to other fuel forms due to more complete combustion, resulting in more intense and prolonged heat release, along with calorific value standardization.

Employing RPU in briquette production stands as an intriguing practice for reducing environmental impacts and generating clean energy. It is a sustainable alternative for thermal energy generation, aiding in reducing dependency on fossil fuels and potentially resulting in up to a 40% reduction in CO² emissions compared to fossil fuel usage (KOLAKOVIC et al., 2016).

According to Oliveira et al. (2016), the utilization of RPU for briquette production holds substantial energy potential, as it constitutes a renewable and abundant biomass source. Furthermore, Rueda et al. (2019) emphasize the high calorific value and low emission of polluting gases of such briquettes, making them an environmentally sustainable and efficient option for thermal energy generation.

However, each city possesses a unique floristic composition in its landscaping, implying a diversity of tree species with varying densities of the material used for briquette manufacture. This can affect the calorific value and quality of the end product.

Hence, the significance of this study lies in the valorization of underutilized resources. In numerous cases, RPU are considered undesired byproducts, discarded without proper utilization. By converting these residues into briquettes, they are elevated in value and used as a valuable energy source. This presents an opportunity to enhance the efficiency and sustainability of the natural resource lifecycle.

3. MATERIALS AND METHODS

3.1. Urban Pruning Residue Collection

The raw material employed was Urban Pruning Residue (RPU) from the city of Curitiba, Paraná, Brazil. This city harbors a blend of 122 tree species constituting its urban landscape. The three most frequent and proportionate species for the year 2010 were *Lagerstroemia indica* (crape myrtle), *Ligustrum lucidum* (broadleaf privet), and *Handroanthus chrysotrichus* (yellow trumpet tree) (BOBROWSKI, 2012).

The residue used in this study was obtained from the processing of this material, which was stored at the

company Byocom, responsible for RPU collection in the city.

3.2. Briquette Production

The compaction of RPU biomass was conducted using a laboratory briquetting machine (Figure 1), at a temperature of 120°C, pressure of 1200 kgf.cm⁻², compaction time of 5 minutes, and cooling time of 10 minutes with forced ventilation. For each briquette, 40g of shredded biomass was utilized.

According to figure 1, the provided description pertains to a laboratory-scale briquetting machine. This apparatus is employed for the compaction of biomass materials into briquettes. The machine features a compact design and is equipped with mechanisms for applying pressure and temperature control during the briquette formation process.



Figure 1: Laboratory Briquetting Machine.

Source: Authors

The temperature aimed to facilitate lignin plasticization, serving as a natural binder for the particles during compaction. For each briquette, 40 g of residue was used, with the goal of achieving a final briquette size of approximately 4 cm in height and 3 cm in diameter.

Briquetting conditions were determined through experimental trials involving pressing and cooling times. The applied pressure falls within the range used in Quirino et al. (2012) and Freitas et al. (2016). The temperature objective was to induce lignin plasticization (CHEN, et al., 2009), serving as a natural binding agent for the particles during the compaction process.

3.3. Experiments

- a) Moisture Content (U%) of RPU: The moisture content of the briquette was determined for samples produced after their fabrication using Equation 1, following the ABNT NBR 14929 standard (ABNT, 2017).
- b) Higher Heating Value (HHV): This was analyzed using the IKAWERKE C5003 calorimetric bomb according to the methodology established in the ABNT NBR 8633/84 standard (ABNT, 1984).
- c) Bulk Density (BD): As recommended by ABNT NBR 11941.
- d) Apparent Density (AD): To evaluate the apparent density of the briquettes, the stoichiometric method was used, which involves obtaining the volume from measurements using calipers and the mass of the briquette on a scale with a precision of 0.001 grams. The apparent density was then determined by dividing the moist mass (kg) by the moist volume (m³). The energy density was calculated by multiplying the value of the higher heating value by the apparent density, as performed by Ribeiro et al. (2022).
- e) Durability (Dur): For Dur analysis, the mass loss of the samples was observed. The briquettes were weighed to obtain the initial mass, then placed on a vibratory sieve for 10 minutes at 80 rotations per minute. After this procedure, the briquettes were weighed again to obtain the final mass (RIBEIRO, et al., 2022).
- f) Volumetric Expansion: The volumetric expansion of the briquettes was calculated by measuring the height and diameter of the briquettes and subsequently calculating the volume at two different moments: (i) immediately after briquetting and (ii) 72 hours after briquetting (RIBEIRO, et al., 2022).
- g) Diametral Compression Tensile Strength (DCTS): For DCTS, a universal testing machine EMIC – DL30000 was used with a load cell of 500 kgf and a constant speed of 0.3 mm/min, applying transverse load on the samples (PROTÁSIO et al., 2011; QUIRINO et al., 2012; RIBEIRO, et al., 2022).
- h) Particle Size Analysis: Samples were classified in 20,

40, 60, and 100 mesh using a sieve shaker with intermittent tapping, as mentioned in Ribeiro et al. (2022).

4. RESULTS AND DISCUSSION

The characterization of RPU began with its particle size classification, revealing particles of varying sizes. The majority of particles were classified as 20 mesh (87%), considered as "fine" since it falls below 1 mm (RIBEIRO, et al., 2022). This classification facilitates understanding the differences in particle size distribution for optimal briquetting procedures.

The average moisture content of the briquettes was 7.6%, close to the range of 8% to 15% required for particle agglomeration (GENTIL, 2008; MORAIS, 2007). Generally, a moisture content below 10% is considered ideal for producing briquettes of good quality. Excessively high moisture content can complicate production, requiring more energy for drying, potentially increasing production time and cost. Conversely, very low moisture content might hinder the briquettes from maintaining shape and cohesion, resulting in poor-quality products. Thus, the measured moisture content falls within the expected range.

The average bulk density values obtained in this study indicate an increase in briquette density, confirming it as a viable alternative for reducing transportation costs.

The found Higher Heating Value (HHV) for the briquette was 4417.21 Kcal/kg (18.55 MJ/kg). The Swedish Standard SS 187121 specifies the tolerated minimum HHV as 16.2 MJ/kg (GENTIL, 2008), indicating that the briquettes possess good energy quality.

Regarding ash content, Gentil (2008) notes that residual ash in industrial furnaces is undesirable, making lower ash content more favorable. The results (3.35%) for the biomass exhibit relatively high ash content. The ideal ash content for briquettes may vary based on purpose and specific user requirements. Generally, "the ideal ash content for briquettes is less than 10%" according to Arinze et al. (2021). Briquettes with lower ash content are more energy-efficient, producing fewer residues and thus requiring less cleaning and maintenance.

Volatiles content falls within the range of 76% to 86%, which aligns with reality and affirms that volatiles are the primary contributors to heat generation in combustion. This characteristic also contributes to higher calorific value due to the presence of more hydrogen in the material (NAKASHIMA, et al., 2018). Depending on its use, this can confer qualitative advantages over other residues.

Concerning bulk energy density, the average values obtained (21.05 MJ/m³) indicate an increase in briquette density, confirming its viability for reducing transportation costs. Determining bulk density is essential for generating logistics and waste transport information as per Ribeiro et al. (2022).

Friability yielded a result of 99.80%, classified by Pereira (2009) as very low friability. This suggests that the briquettes are sufficiently resistant to withstand handling

during production, transportation, and storage.

Mandlate (2019) mentions that volumetric expansion can impact briquette combustion efficiency by forming voids or air channels within the block, reducing material density and hindering heat transfer. Expansion can also lead to briquette breakage during combustion, generating residues and emitting pollutants. The average volumetric expansion result was 1.35%.

Rep.	Biomass			Briquettes	
	Ash Content (%)	Volatile Matter (%)	Fixed Carbon (%)	Friability (%)	Maximum Load (Kgf)
1	3,39	77,73	18,87	99,83	749,02
2	3,53	78,26	18,22	99,80	652,71
3	3,56	78,74	17,71	99,81	640,04
4	3,16	79,57	17,28	99,83	709,07
5	3,13	78,24	18,63	99,75	773,76
Average	3,35	78,51	18,14	99,80	704,92

Table 1: Ash Content, Volatile Matter, and Fixed Carbon Results of RPU Biomass, and Friability and Maximum Load Results of RPU Briquettes.

Source: Authors

To minimize volumetric expansion in briquettes, it's important to control material moisture and combustion temperature, along with utilizing appropriate compaction techniques. The addition of binding agents can also help reduce volumetric expansion and enhance the mechanical strength of briquettes (MANDLATE, 2019).

Tensile Strength by Diametral Compression (RTCD), as determined in Figure 2, is one of the technical specifications that briquette manufacturers must adhere to in order to ensure the quality and safety of their products.

The test was conducted based on an adaptation of the NBR 7222 standard (ABNT, 1994) for determining diametral compression tensile strength in cylindrical concrete and mortar samples, as there is no specific standard for tensile strength in briquettes (MORAES, et al., 2019).

One of the primary European standards is the Swedish Standard SS 187120, titled "Pellets - Requirements and Testing," which provides guidelines and technical requirements for the production and use of biomass pellets, and SS 18 7121 for wood briquettes. According to the Swedish standard, after determining RTCD, briquettes should be classified into three groups:

Group I: RTCD equal to or greater than 500 kgf (kilogram-force).

Group II: RTCD between 300 and 500 kgf.

Group III: RTCD less than 300 kgf.



Figure 2: RTCD Determination Test.

Source: Authors

The standard establishes that Group I briquettes are of high quality and are recommended for use in high-demand industrial furnaces that require high fuel performance. Group II and III briquettes are considered lower quality and are more suitable for residential or

low-demand furnaces.

The average result obtained in the tests was 704.9 kgf, classifying it as Group I and indicating high-quality briquettes.

5. CONCLUSIONS

The quality of briquettes molded on a laboratory scale in this study, using RPU, proved to be quite satisfactory. The results obtained in the characterization tests of briquettes produced from urban pruning indicated that they meet the established technical specifications. The granulometric classification revealed an appropriate particle distribution, the average moisture content of 7.6% was within the necessary range for particle agglomeration, and the bulk density of the briquettes increased, indicating a viable alternative for reducing transportation costs.

Although the ash content was considered elevated, it falls within acceptable limits for certain uses, and an adequate volatile content ensures higher heat generation during combustion. The friability of the briquettes was low, indicating suitable resistance to withstand handling during production, transportation, and storage. The volumetric expansion of the briquettes was controlled, preventing the formation of voids and loss of density during burning.

Finally, the Determination of Tensile Strength by Diametral Compression (RTCD) of the briquettes resulted in an average of 704.9 kgf, classifying them as Group I, meaning high-quality briquettes recommended for use in high-demand industrial furnaces.

The waste generated from the processing of wood from urban pruning in the metropolitan region of Curitiba-PR can be directly used for briquette production based on the obtained results, without the need for further processing such as grinding or milling, thereby reducing associated costs related to energy utilization. In other words, it is a promising and sustainable alternative for the utilization of vegetative waste. Moreover, producing briquettes from RPU can create jobs, income, and new opportunities for the local population, contributing to the socio-economic development of the region.

ACKNOWLEDGMENTS

We extend our gratitude to Byocom company, the Wood Quality and Bioenergy Laboratory of UFG, and the Graduate Program in Urban Environmental Sustainability of UTFPR.

REFERENCES

AIE. International Energy Agency. **World energy outlook 2011**. Paris, 2011.

Associação Brasileira De Normas Técnicas (ABNT). **NBR 14929**: Madeira - Determinação do teor de umidade de cavacos - Método por secagem em estufa. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

Associação Brasileira De Normas Técnicas (ABNT). **NBR 8633:84** - Carvão vegetal - Determinação do poder calorífico. Cancelada sem substituição em 12/2014. Rio de Janeiro, 1984.

ARINZE, C. U., EKEZIE, F. G. C., & OKOYE, V. N. (2021). Enhancing the solubility and dissolution rate of poorly soluble drugs: A review of technologies and strategies. **Journal of Drug Delivery Science and Technology**, 61, 102302.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL – BEN. 2021: Ano base 2020 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2021. 292 p.: 182.

BERTUOL, D. A. et al. Briquetes produzidos com resíduos de poda urbana para geração de energia. **Revista Energia na Agricultura**, v. 33, n. 1, p. 1-9, 2018.

BOBROWSKI, R.; BIONDI, D.; FIGUEIREDO FILHO, A. Dinâmica da distribuição diamétrica na arborização de ruas da cidade de Curitiba, Paraná, Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 94, p. 167-178, 2012.

CASTRO, A. C.; RODRIGUES, J. S. **Desenvolvimento Rural e Sustentabilidade**: Energia, Produção e Novos Mercados - Volume 2, Capítulo 10 - Resíduos agroindustriais e de poda urbana na produção de briquete comportamento físico-químico e térmico: potenciais energéticos provenientes de briquetes. ISBN: 978-65-5360-286-1v, 2023.

CHEN, L.; XING, L.; HAN, L.; Renewable energy from agro-residues in China: solid biofuels and biomass briquetting technology. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 2009, 13, 2689.

DUARTE, F. A. et al. Utilização de resíduos de poda urbana na fabricação de compósitos de madeira-plástico.

Ciência Florestal, v. 27, n. 1, p. 87-98, 2017.

FORTES, M. M. **Recuperação Energética de Resíduos Agroflorestais por meio de Peletização e Torrefação**. Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Publicação PPGEFL.TD-107/2022. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2022, 93 p.

FRANCO, Mariana P.; SETTE JUNIOR, Carlos Roberto. Resíduo do Desdobro da Madeira de *Hymenolobium petraeum* Ducke para a Produção de Briquetes. **Rev. Virtual Quim.**, 2022, 14 (1), 31-34.

FREITAS, P.C.; SILVA, M. F.; SILVA, R.T.; CONEGLIAN, A. & SETTE Jr, C.R. Evaluation of briquettes from bamboo species produced under different temperatures. **International Journal of Current Research**, vol. 8, n. 9, p. 39260-39265, 2016.

GENGO, R. de C., & HENKES, J. A. (2012). A utilização do paisagismo como ferramenta na preservação e melhoria ambiental em área urbana. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, 1(2), 55–81, 2012.

GENTIL, L.V.B. **Tecnologia e Economia do Briquete de Madeira**. Brasília, 2008. 195 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Florestal). Publicação EFL TD 009/2008. Departamento de Engenharia Florestal. Universidade de Brasília, 2008.

GUSEV, A. V.; MAMAEVA, N. A.; SAVEL'eva, G. A.; KHOKHLACHEVA, Y. A. Study of quantitative characteristics of three cultures (peonies, hostas, irises) for their use in urban landscaping. **Ornamental Horticulture**, V. 29, No. 1, 2023 p. 14-27

KOLAKOVIC, M. et al. Assessment of biomass residues for energy production and environmental impact in Serbia. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 3926-3936, 2016.

MANDLATE, A., & MACUVELE, D. (2019). Effect of binder type and concentration on the physical properties and combustion characteristics of briquettes made from bagasse and sawdust. **Fuel Processing Technology**, 186, 16-24. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2019.01.004>>

MORAIS, D. M. **Briquetes de resíduos ligno-celulósicos**

como potencial energético para queima de blocos cerâmicos: uma aplicação em uma indústria de cerâmica vermelha que abastece o Distrito Federal. Tese de Doutorado. Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

NAKASHIMA, Gabriela Tami; AKIYAMA, william hideyuki; SANTOS, Luis Ricardo Oliveira; PADILLA, Elias Ricardo Durango; BELINI, Gabriela Bertoni; VARANDA, Luciano Donizeti; PÁDUA, Franciane Andrade de; YAMAJI, Fábio Minoru. Briquetes produzidos a partir do aproveitamento de resíduos provenientes do aterro de resíduos inertes da cidade de Sorocaba. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.7, n.2, p. 231- 243, 2018.

OLIVEIRA, A. F. et al. Produção de briquetes a partir de resíduos de poda urbana. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 4, p. 372-377, 2016.

PEREIRA, F. A. **Efeito da granulometria e de aglutinantes nas propriedades de briquetes de finos de carvão vegetal**. 2009. 50f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Iniciativas de energia limpa e desenvolvimento sustentável**. Disponível em: <https://www.undp.org/>. Acessado em: 26 maio de 2023.

PROTÁSIO, T.P; ALVES, I.C.N; TRUGILHO, P.F.; SILVA, V.O. & BALIZA, A.E.R. Compactação de biomassa vegetal visando à produção de biocombustíveis sólidos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, vol. 31, n. 68, p. 273-283, 2011.

QUIRINO, W. F.; PINHA, I. V. O.; MOREIRA, A. C. O.; SOUZA, F.; TOMAZELLO FILHO, M.; **Densitometria de raios X na análise da qualidade de briquetes de resíduos de madeira**. **Scientia Forestalis** 2012, 40, 525

RIBASKI, Nayara G.; ALVES, Gustavo J. P.; SOCZEK, Alexia; BELINI, U. L. Cidades sustentáveis e o aproveitamento de resíduos de poda urbana para transformação em painéis aglomerado. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, São José dos Pinhais, v.16, n.1, p. 65-72, 2023.

RIBEIRO, Raquel M.; BAHIA, Marco Antônio M.; CAETANO, Mateus Z. G.; SOUSA, Pedro Henrique C. V.; FERNANDES, Rafaela Laís O.; FRANCO, Mariana P.; SETTE JUNIOR, Carlos Roberto. Resíduo do Desdobro da Madeira de *Hymenolobium petraeum* Ducke para a Produção de

Briquetes. Rev. **Virtual Quim.**, 2022, 14 (1), 31-34.

RUEDA, F. et al. Valorization of urban pruning residues through the production of briquettes for thermal energy generation. **Waste Management**, v. 92, p. 72-79, 2019.

RIBEIRO, Raquel M.; BAHIA, Marco Antônio M.; CAETANO, Mateus Z. G.; SOUSA, Pedro Henrique C. V.; FERNANDES, Rafaela Laís O.;

SANTOS, L. C.; SOUZA, M. M.; SILVA, T. S.; VITAL, B. R.; CARNEIRO, A. C. O. Avaliação de pellets produzidos com misturas de resíduos de poda de árvores e papelão ondulado. **Anais do I Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira** – CBCM, 2013. Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://proceedings.science/cbcm-2013/papers/avaliacao-de-pellets-produzidos-com-misturas-de-residuos-de-poda-de-arvores-e-papelao-ondulado->>. Acesso em: 24 mai. 2023.

STÄHL, M., and BERGHEL, J. (2011). "Energy efficient pilot-scale production of wood fuel pellets made from a raw material mix including sawdust and rapeseed cake," **Biomass and Bioenergy** 35(12), 4849-4854. DOI: 10.1016/j.biombioe.2011.10.003

AUTHORS

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9697-9548>

ANDRÉ CHRISTIAN KEINERT, MSc. | Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) | Doutorando no PPGSAU - Campus Curitiba. Sede Centro - Direção Geral e Setores Acadêmicos - Av. Sete de Setembro, 3165 - Rebouças CEP 80230-901 - Curitiba - PR - Brasil. | E-mail: andre.keinert@gpcquimica.com.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0335-0407>

ANNA CLARA CHAVES RIBEIRO - Universidade Federal de Goiás - UFG | Mestranda do PPGA | Avenida Esperança s/n, Câmpus Samambaia - Prédio da Reitoria | CEP 74045-155 - Goiânia - GO - Brasil | E-mail: annaclararibeiro7@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1007-2345>

CARLOS ROBERTO SETTE JUNIOR, Dr. | Universidade Federal de Goiás - UFG - PPGA | Avenida Esperança s/n, Câmpus Samambaia - Prédio da Reitoria | CEP 74045-155 - Goiânia - GO - Brasil. | E-mail: crsettejr@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5906-3698>

ENZO AURÉLIO BARUFF DE BRITO ECUNHA | Universidade Federal de Goiás - UFG - Graduação em Engenharia Florestal | Avenida Esperança s/n, Câmpus Samambaia - Prédio da Reitoria | CEP 74045-155 - Goiânia - GO - Brasil | E-mail: enzobaruff@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8871-657X>

NAYARA GUETTEN RIBASKI, MSc. | Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) | Doutoranda no Programa de Pós Graduação em Sustentabilidade Ambiental e Urbana - PPGSAU | Campus Curitiba. Sede Centro - Direção Geral e Setores Acadêmicos - Av. Sete de Setembro, 3165 - Rebouças CEP 80230-901 - Curitiba - PR - Brasil. | E-mail: nayribaski@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5025-8582>

UGO LEANDRO BELINI, Dr. | Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) | PPGSAU - Campus Curitiba. Sede Centro - Direção Geral e Setores Acadêmicos - Av. Sete de Setembro, 3165 - Rebouças CEP 80230-901 - Curitiba - PR - Brasil. | E-mail: ubelini@utfpr.edu.br

HOW TO CITE THIS ARTICLE

RIBASKI, Nayara Guetten; BELINI, Ugo Leandro; SETTE JUNIOR, Carlos Roberto; RIBEIRO, Anna Clara Chaves; CUNHA, Enzo Aurélio Baruff de Brito e; KEINERT, André Christian. Manufacture of Briquettes With Urban Pruning Residues. **MIX Sustentável**, v. 9, n. 5, p. 41-50, 2023. ISSN 244-73073. Available in: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Access in: DD/MM/YYYY doi: <<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n5.41-50>>.

SUBJECTED IN: 18/03/2023

ACCEPTED IN: 19/06/2023

PUBLISHED IN: 30/10/2023

RESPONSIBLE EDITOR: Lisiane Ilha Librelotto e Paulo Cesar Machado Ferroli

Record of authorship contribution:

NGR: Conceptualization, data curation, formal analysis, Investigation, methodology, project administration, visualization, writing – original draft and Writing – review & editing.

ULB: Conceptualization, funding acquisition, methodology, project administration, supervision, validation and Writing – review & editing.

CRSJ: Conceptualization, funding acquisition, methodology, project administration, supervision, validation and Writing – review & editing.

ACCR: data curation and Investigation

EABBC: data curation and Investigation

ACK: Investigation

Conflict declaration: nothing has been declared.

STEEL CIRCULAR ECONOMY IN THE CIVIL CONSTRUCTION: A STUDY CASE OF STEEL INDUSTRY

ECONOMIA CIRCULAR DO AÇO NA CONSTRUÇÃO CIVIL: ESTUDO DE CASO DE SIDERÚRGICA

ECONOMÍA CIRCULAR DEL ACERO EN LA CONSTRUCCIÓN: ESTUDIO DE CASO DE UNA EMPRESA SIDERÚRGICA

CLARISSA SENA DE ANDRADE | UPE - Universidade de Pernambuco, Brasil

ALBERTO CASADO, Dr. | UPE - Universidade de Pernambuco, Brasil

EMANOEL SILVA DE AMORIM | UPE - Universidade de Pernambuco, Brasil

GIRLÂNDIA DE MORAES SAMPAIO | UPE - Universidade de Pernambuco, Brasil

DIOGO CAVALCANTI OLIVEIRA | UPE - Universidade de Pernambuco, Brasil

JOAQUIN HUMBERTO AQUINO ROCHA, Me. | UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil

ABSTRACT

This research aims to describe a case study of the application of the circular economy of steel in a steel industry, demonstrating the impacts on economic, social and environmental sustainability. The methodology employed included a case study with stages of literature review, field investigation and analysis of collected data. The field investigation consisted of direct observation and analysis of documents, as well as visits and interviews with the managers of the studied company. The analysis of the results considered CO₂ emissions, energy consumption, use of raw materials and recycling of co-products, mainly. The results demonstrated the positive impacts of the business model in the context of the circular economy, with the reduction of greenhouse gas emissions by approximately 50% compared to the global average; 8.90% reduction in energy spent during steel manufacturing from 2019 to 2020, despite the 5.53% increase in production in the year. It should be noted that each year a greater percentage of waste is reused, with a maximum value of 78.88% in 2020. The main contribution of this work consists in the systematization of the actions that characterize the circular economy in the steel industry, through which it encourages sustainable processes in the civil construction industry. The sector can be one of the drivers of the transition to a circular economy by reducing the consumption of raw materials and energy, in addition to greenhouse gas emissions, increasing profitability and having a sustainable approach.

KEYWORDS

Circular economy; sustainability; steel mills; greenhouse gas emissions; construction industry.

RESUMO

Esta pesquisa tem por objetivo descrever estudo de caso da aplicação da economia circular do aço em siderúrgica, demonstrando os impactos para a sustentabilidade econômica, social e do meio-ambiente. A metodologia empregada contemplou estudo de caso com etapas de revisão da literatura, investigação em campo e análise dos dados coletados. A investigação em campo consistiu em observação direta e análise de documentação, além de visitas e entrevistas com os gestores da empresa estudada. A análise dos resultados considerou principalmente as emissões de CO₂, consumo de energia, uso de matérias-primas e reciclagem de coprodutos. Os resultados demonstraram os impactos positivos do modelo de negócio no contexto da economia circular, com a redução de emissão de gases de



efeito estufa (GEE) aproximadamente 50% em relação à média global; redução da energia gasta durante fabricação do aço de 2019 a 2020 em 8,90%, mesmo diante do aumento da produção no ano de 5,53%. Destaca-se que a cada ano é reaproveitada uma maior percentagem de resíduos, com um valor máximo de 78,88% em 2020. A principal contribuição deste trabalho consiste na sistematização das ações que caracterizam a economia circular em siderúrgica, através da qual se incentiva processos sustentáveis na indústria da construção civil. O setor pode ser um dos motores da transição para uma economia circular ao reduzir o consumo de matérias-primas e energia, além das emissões de GEE, aumentar a rentabilidade e ter uma abordagem sustentável.

PALAVRAS-CHAVE

Economia circular; sustentabilidade; siderúrgicas; emissão de gases de efeito estufa; indústria da construção.

RESUMEN

El objetivo de esta investigación es describir un estudio de caso sobre la aplicación de la economía circular en la siderurgia, demostrando las repercusiones en la sostenibilidad económica, social y medioambiental. La metodología empleada incluyó un estudio de caso con etapas de revisión bibliográfica, investigación de campo y análisis de los datos recogidos. Los resultados mostraron los impactos positivos del modelo de negocio en el contexto de la economía circular, con una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de aproximadamente el 50% en comparación con la media mundial; una reducción del 8,90% de la energía utilizada para fabricar acero de 2019 a 2020, incluso ante un aumento del 5,53% de la producción en el año. Cabe destacar que cada año se reutiliza un mayor porcentaje de residuos, con un valor máximo del 78,88% en 2020. La principal aportación de este trabajo es sistematizar las acciones que caracterizan la economía circular en la siderurgia, a través de las cuales se fomentan los procesos sostenibles en la industria de la construcción. El sector puede ser uno de los impulsores de la transición hacia una economía circular reduciendo el consumo de materias primas y energía, así como las emisiones.

PALABRAS CLAVE

Economía circular; sostenibilidad; acerías; emisiones de gases de efecto invernadero; industria de la construcción.

1. INTRODUCTION

Civil construction is responsible for 38% of greenhouse gases emitted into the atmosphere, being pointed out as the industry with the greatest impact on environmental sustainability (HUANG *et al.*, 2018; UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 2020). In addition, the sector is the largest consumer of raw material, generating about 35% of municipal landfill waste (GHAFFAR *et al.*, 2020).

This situation is a social challenge due to the increasing volume of construction waste, where in Brazil presents more than 60% of the collection of municipal solid waste (MSW) in cities, as a consequence of a linear economic model (ABRELPE, 2020). As an option to reduce the use of primary materials and their environmental impacts, through different strategies that replace the end of life, such as reduction, reuse and recycling of materials in production/distribution and consumption processes, the circular economy stands out (KIRCHHERR *et al.*, 2017; LI *et al.*, 2022). The Circular Economy (infinite cycle), proposes changes in the way of thinking and acting in relation to the consumption of goods and services, favoring the reintegration of waste to the productive cycle/consumption infinite times (RUIZ *et al.*, 2020; MANNHEIM, 2022).

In Brazil, the main regulatory framework that addresses the circular economy is the National Solid Waste Policy (NSWP), introduced in 2010 by Law 12,305 (BRAZIL, 2010). Brazil can be considered a pioneer in the countries of Latin America and the Caribbean to implement legislation related to waste management (GUARNIERI *et al.*, 2020). However, the circular economy is not formally expressed in national laws and has been approached in a decentralized way, with incipient implementation and the concept still little understood (JESUS *et al.*, 2023).

Circular Economy systems are based on the reuse, repair, reconditioning, remanufacturing, and recycling of products. The return to the production cycle, allows treating waste in a biological and technical way, being thought from its design so that they can recirculate safely and with quality, expanding the possibilities of business related directly or indirectly to the Circular Economy (ABDALLA; SAMPAIO, 2018; FRANCONI; CESCHIN; PECK, 2022; SHEVCHENKO *et al.*, 2023).

The circular economy covers several areas, including industrial, through remanufacturing, which allows the transformation of used or defective products into new products, with a new life cycle (ALAMEREW; BRISSAUD, 2020; MISHRA *et al.*, 2023). Particularly in the steel industry is no different. Currently, steel company in Brazil are distributed in 10 Brazilian states, with the highest concentration in the

Southeast region, 92% of production (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017). Steel is the most recyclable material in the world and can be continuously recycled without loss of quality and reused as raw material through scrap. The adoption of the circular economy concept in the sector has enabled the intelligent and effective reuse of raw materials, inputs, and waste (BRAZIL STEEL INSTITUTE, 2017).

Given the context presented, this paper aims to describe through a case study the application of circular steel economy in a steel company, demonstrating the impacts caused by the business model of the company in economic, social, and environmental sustainability. The main analyses of the case study include CO₂ emissions, energy consumption, use of raw materials, and recycling of co-products.

STEEL PRODUCTION AND THE CIRCULAR ECONOMY

The International Labor Organization considers that the steel sector accounts for 3% of the employed people in the world, contributing about 3.8% of the global GDP (WORLD STEEL ASSOCIATION, 2020) According to the World Steel Association (2021), it is estimated that world demand for steel will double by 2050, a situation that greatly contributes to increased resource consumption, since among the industrial segments, the steel is the largest consumer of energy (MILFORD *et al.*, 2011; HOLAPPA, 2020).

Given the situation, the steel production process is crucial for the strategic and sustainable growth of this segment, as well as reassess the current business model. According to the Brazil Steel Institute (2020), there are two types of steel plants: integrated (use iron ore as raw material in a majority way) and semi-integrated (use scrap as the main source of steel production). Figure 01 illustrates the steel production process.

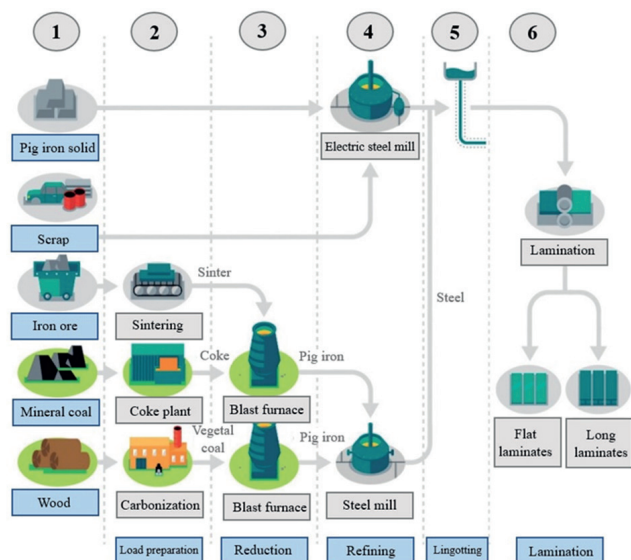


Figure 01: Steel production.
Source: Brazil Steel Institute (2017).

In the integrated plants, the first step consists in the preparation of raw material (Step 1) - iron ore - which is processed via pelletization (agglomeration of fines into pellets of defined size for blast furnace efficiency) or via sintering (prepared for physical and chemical characteristics). The addition of sinter, coke, and wood (Step 2) inside the blast furnace (Step 3) promotes the production of pig iron (iron and carbon alloy), through the reduction induced by coke. Still in Step 3 are added the fluxes and scorching with the function of forming compounds with higher melting point when aggregating with impurities of iron ore and coal. In the refining (Step 4) is inserted oxygen to the process to oxidize carbon, manganese, silicon, and phosphorus present in pig iron. This process is developed in the steel mill, via LD/BOF converter (Lins-Donawitz/Basic Oxygen Furnace).

Subsequently, the liquid metal goes to casting (Step 5), followed by mechanical forming through lamination (Step 6).

In the semi-integrated plants, focus of this work - business model of the circular economy, the production of steel occurs by the fusion of metal load (scrap, pig iron) in the electric steelworks/ electric furnace in the refining (Step 4), eliminating Steps 2 and 3, following for the casting (Step 5) and rolling (Step 6).

The main advantage of semi-integrated plants is the absence of the iron ore reduction step, which reduces the complexity of the production process while allowing lower costs and lower greenhouse gas emissions. According to data from the World Steel Association (2021), one ton of steel produced with recycled ferrous scrap is equivalent to ceasing to emit 1.5 tons of greenhouse gases. Figure 02 illustrates the CO₂ emission by integrated and semi-integrated plants.

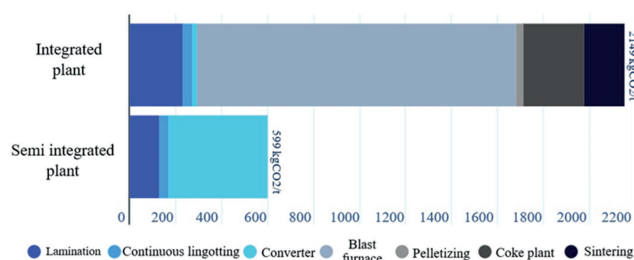


Figure 02: Integrated versus semi-integrated power plants in CO₂ emission.
Source: Chalabyan et al. (2019).

In addition to being less polluting, the semi-integrated plants have other advantages: activated and deactivated more easily, can produce steel in smaller quantities, more flexible with the adjustments of production levels

according to steel demand and makes the use of scrap exposing less to the availability of iron ore (MERCADO, 2018). The global trend is that there is an increasing adoption of semi-integrated plants (also called mini-mills), since in 2020, the world crude steel production was already 27.7% through semi-integrated plants; while the rest in integrated plants (WORLD STEEL ASSOCIATION, 2021).

The role of the semi-integrated steel plant is fundamental to the circular economy in the processing of scrap steel, contributing to the preservation of the environment by reducing the amount of material deposited in landfills and inadequate sites. In addition, the semi-integrated plant reduces the energy use required in the steel production process by minimizing CO₂ emissions and generates job opportunities for thousands of people through an extensive chain of scrap collection and processing for recycling.

3. METHODOLOGY

For the development of the present work, the qualitative research method was adopted with a case study. According to Godoy (1995), qualitative research starts from issues or focuses that have broad interests, where, as the study develops, these interests are defined.

In general, this type of research seeks to obtain descriptive data on people, places and interactive processes through direct contact of the researcher with the situation being studied. Emphasizing that the definition of qualitative research will not be restricted to the object of study or even by its purpose, but mainly by the way the object is studied. Dias Filho (2008) highlights the main elements to typify qualitative research. They are qualitative research has the natural environment as a direct source of data and the researcher as its main instrument; qualitative research is descriptive; the concern with the process is much greater than with the product; meaning is the essential concern in the qualitative approach and data analysis tends to follow an inductive process.

Thus, this research becomes qualitative, as it focuses on the analysis and description of the steel production process, seeking to address the business model towards a circular economy in a case study of a semi-integrated plant, and its importance for environmental, economic, and social sustainability. According to Lara and Molina (2011), case study is a research category whose objective is a unit that is analyzed in depth and that two circumstances must be observed: nature and scope of the unit; complexity of the case study determined by the theoretical

supports that guide the work of the researcher.

This work is structured in 3 topics. The first is a literature review focused on the conceptual aspects and foundation on the subject. Followed by field research and, finally, the analysis of collected data, in which actions are described to achieve the objective and expected results.

3.1. Literature review

The narrative literature review was made to build the theoretical framework, which becomes important for the thematic contextualization addressed. The literature survey is the location and obtaining of documents to assess the availability of material that will support the topic of research work. Collection sites can be in libraries, government or private agencies, institutions, individuals, collections, scientific articles. Thus, is separated the documents collected according to the search criteria (GONÇALVES, 2019).

We used strong authors about the theme to build the theoretical framework, to contextualize the theme. From bibliographical research, which took place in articles and course completion papers in the period 2015-2021 on the academic google platform. And also, platforms to obtain technical information such as the Brazil Steel Institute and World Steel Association.

3.2. Field investigation with descriptive analysis

The present work consists of field research of descriptive nature, with sources of evidence adopted as: direct observation and analysis of documents. A case study was carried out in order to evaluate the sectors of the steel production process, visits were made to the areas to obtain a technical and professional view, as shown in Figure 03.

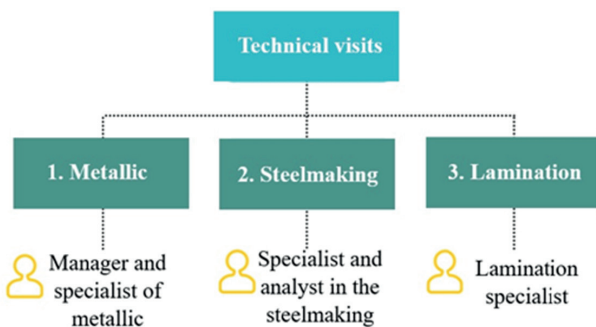


Figure 03: Technical visits to the steel sectors studied.
Source: Elaborated by the authors.

Thus, interviews were conducted with the manager and specialist in the area of metal, in which they are

responsible for the marketing and receipt of scrap at the plant. Interviews were also conducted with the specialist and analyst of the steel mill sector, in which he is responsible for the transformation of scrap into billet and the rolling specialist to understand how the process of transformation of the billet into rebar occurs. Because it is qualitative research, the interview was chosen as a complementary instrument of data collection, which also allows to obtain information from the study subjects through oral interaction (VARGAS-JIMÉNEZ, 2012).

3.3. Analysis of the collected data

Data analysis was made from documentary research and field investigation, in which the information was compiled and critically analyzed in order to characterize and describe the steel plant process. The documentary research strategy was used to mediate the discussion with the literature, retrieving technical standards, materials made available by the steel plant studied - courses, materials and the company's website. The 2020 annual report was also retrieved, since it was the last one published. The main analyses of the case study are presented in Table 01.

Parameter	Quantification
CO ₂ Emissions	Total emission (tCO ₂) and per ton of steel (tCO ₂ /t steel)
Energy consumption	Total energy consumption per ton of steel (GJ/t steel)
Raw Materials	Tons of Pig Iron, Alloys, Fuels and Scrap
Co-products	Recycling (%)

Table 01: Main analysis of the case study.
Source: Elaborated by the authors.

4. RESULTS AND DISCUSSIONS

The company studied operates in the steelmaking segment, as a producer of flat steel, long steel, iron ore, and has integrated and semi-integrated mills. It also operates in the market by recycling scrap, which represents 73% of its raw material, the scrap is then transformed into steel and returned to society in civil construction, agriculture, automobiles, infrastructure, and energy. Nechifor *et al.* (2020) indicate that the adoption of scrap as an input in the steel industry favors the reduction of negative environmental impacts and provides a direction for a circular economy. The use of recycled materials and new technologies in steel production requires the use of fewer resources, encouraging a circularity in production

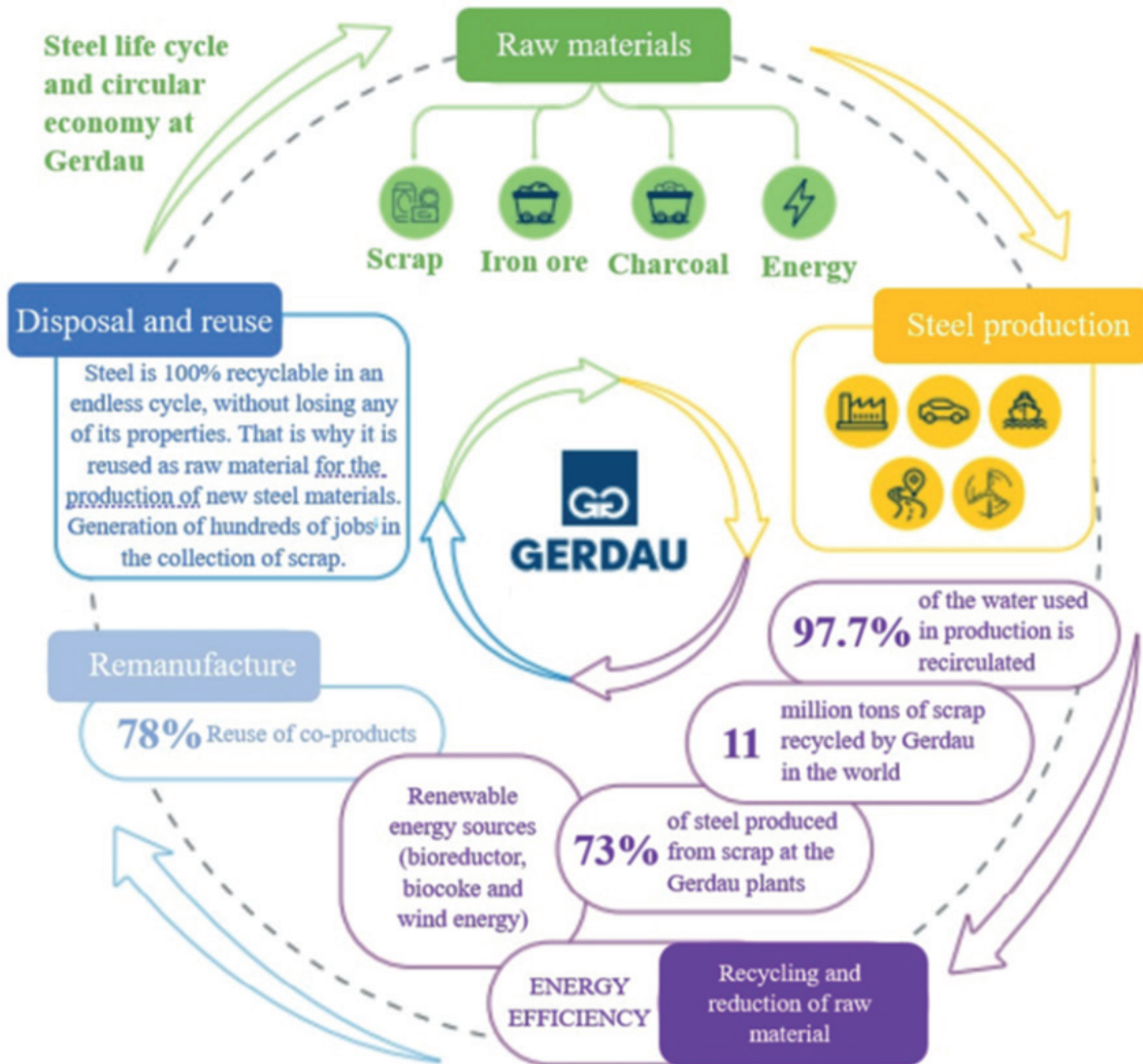


Figure 04: Summary scheme of the circular economy of the company studied.
Source: Adapted by the author of the annual report 2020 of the company studied (GERDAU, 2020).

processes (MULVANEY *et al.*, 2021). For these reasons the business model of the company studied is characterized as circular economy.

The company has been seeking to balance the economic, social and environmental pillars by adopting various initiatives and practices aligned with the concept of circular economy, through environmental investments, environmental education training to employees, preserving and conserving forests. Figure 04 presents a summarized scheme of the circular economy of the studied company.

The circular model adopted in the studied plant has brought relevant results for sustainability, mainly by CO₂ emissions, which is the main greenhouse gas emitted by the steel industry (DI SCHINO, 2019). In the analysis of the production of greenhouse gases directly (scope 01 - includes the emission sources: industrial processes; stationary combustion; mobile combustion) and indirect (scope 02

- includes the emission sources: acquired electric energy), it is possible to perceive the reduction of gas emissions compared to 2019 in Table 02. Although in Scope 01 there is an increase in CO₂ emissions from 2019 to 2020, which is explained by the higher steel production. The company

Production of greenhouse gases	2019	2020
Scope 01	9,056,519	9,198,407 (+1.57%)
Biogenic emissions of CO ₂	1,891,560	1,738,243 (-8.10%)
Scope 02	2,890,986	2,082,515 (-27.96%)

Table 02: Direct greenhouse gas emissions, in tons of CO₂.
Source: Data collected from the 2020 annual report of the company studied (GERDAU, 2020).

reported 12,453,099 tons in 2019 versus 13,142,345.30 tons in 2020, an increase of 5.53%. In this sense, the CO₂ emission per ton steel produced is presented in Figure 05.

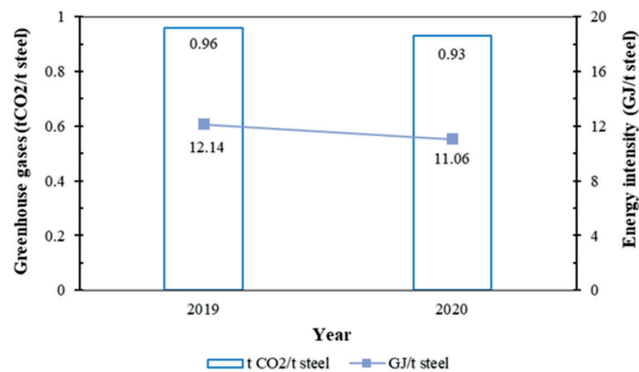


Figure 05: CO₂ emission and energy intensity per ton steel produced.
Source: Adapted by the author of the annual report 2020 of the company studied (GERDAU, 2020)

The intensity of greenhouse gas emissions has decreased compared to 2019, reaching 0.93 tCO₂/t of steel produced, which represents approximately half of the global steel industry average: 1.83 tCO₂/t steel produced (Pandit *et al.*, 2020). This reduction is attributed to the use of both scrap and semi-integrated plants. Nechifor *et al.* (2020) points out that for each ton of steel produced from scrap there is a 60% reduction in CO₂. Di Schino (2019) indicates that semi-integrated plants have lower CO₂ emissions than integrated plants.

The use of carbon from renewable forest origin, recycling scrap and the reuse of gases, and focus on a circular and sustainable model reflects the carbon intensity being below the global average of the steel industry. This intensity also includes the integrated plants, which despite the increase in production, achieved a better performance compared to the previous year, reducing the emission of gases. Pinto *et al.* (2018) show that the Brazilian steel industry can reduce greenhouse gas emissions through the use of charcoal under a regulatory policy that ensures its production in a sustainable way, value for steel products produced under this strategy.

Among the industrial sectors, the steel industry is the largest energy consumer, most of which comes from fossil fuels; therefore, energy consumption and CO₂ emissions are related (CONEJO *et al.*, 2020; JONES; HASTINGS-SIMON, 2021). The company studied managed to reduce total energy consumption from 151,201,598.91 GJ (2019) to 145,365,489.33 GJ (2020), a reduction of 3.86%, even after having increased its steel production by 2020. This reduction in energy consumption is due to the introduction of renewable sources, as shown in Figure 04.

Figure 05 shows the total energy consumption per ton

of steel, highlighting an improvement in this indicator for 2020, from 12.14 to 11.06 GJ/t steel (-8.90%). According to International Energy Agency (2019), the energy consumption in the steel industry is approximately 20 GJ/t steel, where the company presents a reduction of this indicator by 44.70%. This result is in agreement with Nechifor *et al.* (2020) and Mulvaney *et al.* (2021) who indicate that the use of recycled steel can demand up to 40 and 60% less energy, respectively. Finally, it is important to highlight that in the company's integrated plants, about 92% of the gases generated are reused in the steel manufacturing process. These gases are used in the production of electrical and thermal energy for the industrial plants themselves, contributing to the energy efficiency of the plants.

4.1. Scrap

With the use of scrap, the company studied reduced the demand for natural resources, energy consumption and minimized the emission of gases (Figure 05) and can contribute to the reduction of the amount of material deposited in landfills and inadequate places and also in reducing the production of gases. In 2020 11 million tons of ferrous scrap were recycled, which is equivalent to 1,089 times the weight of the Eiffel Tower, located in Paris, France. The recycling of 1 ton of scrap metal is equivalent to no emission of 1.5 t of greenhouse gases (Broadbent, 2016; Mulvaney *et al.* 2021). In this sense, the company had stopped emitting 16.5 million tons of gases that would boost the greenhouse effect. Thus, showing the effects that a circular business model can bring in the steel process to minimize the impact on the environment.

Some studies (BROADBENT, 2016; Wang *et al.*, 2018), through the Life Cycle Assessment (LCA) methodology, show that the incorporation of recycling in steel is an integral part of the circular economy model that promotes zero waste; reducing the amount of materials used, and encouraging the reuse and recycling of materials. The company has managed to reduce the use of raw materials including Pig Iron, which is responsible for shedding high energy in integrated mill process and has managed to maintain scrap recycling as 73% as a raw material source compared to the previous year (2019), as shown in Table 03.

Co-products

During the steel production process, the generation of waste becomes inevitable, the studied company seeks the development of technological routes with the reuse of these materials in its own plants or for other productive

<i>Raw Materials</i>	<i>2018</i>	<i>2019</i>	<i>2020</i>
<i>Pig iron (internal and external)</i>	<i>4,320,298.68</i>	<i>3,995,328.55</i>	<i>3,889,719.60</i>
<i>Alloys</i>	<i>232,194.94</i>	<i>192,497.89</i>	<i>211,926.81</i>
<i>Carburantes</i>	<i>184,640.75</i>	<i>125,045.42</i>	<i>170,237.72</i>
<i>Scrap/ total raw material from recycling</i>	<i>14,273,236.62</i>	<i>11,548,789.24</i>	<i>11,482,790.78</i>

Table 03: Analysis of raw materials (in tons).

Source: Data collected from the 2020 annual report of the company studied (GERDAU, 2020).

<i>Types of waste</i>	<i>Description</i>
<i>Dangerous Industrial Waste</i>	<i>Oil, grease, granulated blast furnace slag, steel slag, steel mill slurry, flask powder, coal powder, crude AF slag; granular AF slag; ACl mud; ACl slag, EAF dust, EAF slag, non-ferrous metals and crushing, dross, and mill scale. The potential significant impacts of these residues are: soil, surface water and groundwater contamination.</i>
<i>Non-dangerous Industrial Waste</i>	<i>Tires, scrap, scrap land. The potential significant impacts of these wastes are: Impact potential and soil quality change.</i>
<i>Non-industrial dangerous waste</i>	<i>Waste from the health area, lamps, etc. The potential significant impacts can be related to the handling in the case of sharp objects and correct disposal of waste from the health area.</i>
<i>Non-dangerous non-industrial waste</i>	<i>Waste from civil works, wood to form concrete and waste from cesspools. The potential significant impacts of these residues are: civil construction waste and wood, has no potential for contamination; whereas the waste from the pit can cause contamination of the ground water.</i>

Table 04: Types of waste generated in the industry.

Source: Data collected from the 2020 annual report of the company studied (GERDAU, 2020).

purposes and markets, in order to reduce the need for landfills and deposits. Thus, the company maintains a research team focused on the development of this sector, called co-products, based on the principles of circular economy and sustainability, contributing to preserve natural resources, save energy and reduce the disposal of polluting materials, reusing and recycling materials that would previously be discarded as waste. The production process of the studied plant generates the residues shown in Table 04.

The generation of waste in the industrial steel manufacturing process grew: 6,413,895, 6,399,671 and 7,345,566 t for 2018, 2019 and 2020, respectively, with an increase of 14.53% in 2020 compared to 2018, which is also explained by the growth in steel production. According to Figure 06, despite the increase in waste generated, the company also managed to increase the volume of waste reused in the process, 78.88% for 2020. Another important data that the company made available were the products that are in stock, and those that do not yet have a defined

destination. 329,377 t of products in stock for 2020 are reported. In addition, the number of tailings produced decreased from 271,656 t in 2018 to 243,725 t in 2020.

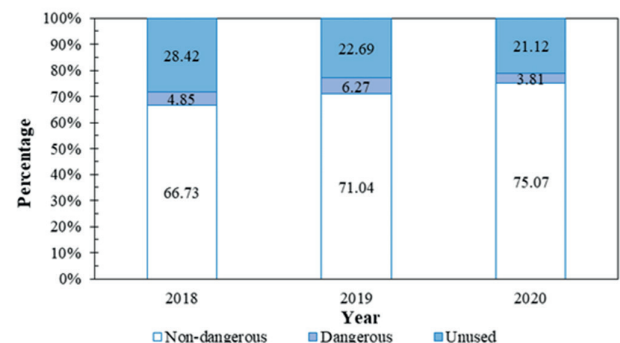


Figure 06: Evolution in waste disposal in the industry studied.

Source: Adapted by the author from the 2020 annual report of the company studied (GERDAU, 2020).

According to the company studied the percentage of reuse of co-products has grown over the years, from 71.58% in 2018 to 78.88% in 2020, which reinforces the idea of circular economy, energy management and innovation and digital transformation. In addition, the

percentage of reuse directly impacts the production of greenhouse gases by volume of steel (tCO₂/t steel), which also decreases, with the addition of other aspects of this circular model such as the use of scrap as raw material (73% of the total company and as the main raw material of the studied plant). According to the company, the goal for 2021 is to increase the reuse of this waste to 95%, further contributing to the sustainability and minimization of greenhouse gases. The operating result of co-products in 2020 generated revenue less expenses of US\$ 96,471,668.02.

The co-products resulting from the steel industry, such as powder, sludge, slag, among others, are recycled and transformed into new products for other industries, especially construction. For example, 97% of the total amount of slag produced is recovered, where 78% is used in cement manufacturing, 21% in road construction and the rest in agriculture as fertilizer (Ardelean *et al.*, 2022). However, it is necessary to develop new technologies to improve the quality of co-products, thus ensuring their reuse with a sustainable approach, lower environmental impact and greater energy efficiency (BRANCA *et al.*, 2020).

Although the company studied shows positive results for a circular economy with a focus on the use of recycled materials and energy efficiency, Di Schino (2019) indicates that the growth in demand for steel may limit the production of semi-integrated plants due to the availability of scrap. Brazil's total steel capacity is estimated to increase from 47.9 (2018) to 70.7 Mt (2020), an increase of 47.6%; however, scrap availability will also increase, from 9.9 Mt (2018) to 21.1 Mt (2030), an increase of 114.14% (NECHIFOR *et al.*, 2020). In this sense, it can be ensured that the growth of scrap availability is higher than the growth of steel demand. Pauliuk *et al.* (2012) point out that the supply of scrap could increase by 2050, but advanced recycling technologies are needed.

The steel industry has potential in the circular economy, mainly with semi-integrated plants and scrap. However, to ensure economic success (profitability and competitiveness) and sustainability, it is necessary to develop new technologies aimed at recycling scrap and other materials (HORVÁTH *et al.*, 2019; JONES; HASTINGS-SIMON, 2021).

5. CONCLUSIONS

The development of the present case study allowed a descriptive analysis of the processes of a semi-integrated plants in the production of steel, from the entry of scrap

in the plant to the rolling for the final product, and the evaluation of the impacts of the circular business model introduced in the company, in which it represents a set of integrated and semi-integrated plants.

Measures to introduce circular economy in the company resulted in 73% of the raw materials of the scrap company. It was able to recycle 11 million tons of ferrous scrap and no longer emits approximately 16.5 million tons of greenhouse gases.

Despite the increase in steel production from 12,453,099 t (2019) to 13,142,345.30 t (2020), the company managed to reduce the greenhouse gas emission intensity from 0.96 tCO₂/t steel (2019) to 0.93 tCO₂/t steel (2020) which represents approximately half of the global steel industry average of 1.83 CO₂/t. The company also managed to reduce its total energy consumption in 2020 compared to 2019, from 12.14 GJ/t to 11.06 GJ/t. Although the generation of waste during the process has grown from 2018 to 2020, growth of 14.53%, the reuse of this waste also grew from 71.58 to 78.88%. In this sense, reuse is one of the pillars of the company that characterizes it as sustainable.

It can be seen that the use of scrap brings benefits to the steel sector as less energy expenditure, as well as minimizes the amount of gases that generate greenhouse effect. In addition, since Brazil has a considerable amount of scrap in the market, the application of the circular economy in steel becomes viable and a gain in the economy and sustainability. This scenario generates a new market for buying and selling scrap, known in the company studied as the metallic sector.

For the Circular Economy to be installed in Brazil, mainly, it is necessary to be environmentally and financially sustainable. Through the results obtained, it can be seen that steel mills have the potential to produce a considerable percentage of waste and this brings enormous opportunity for the introduction of the circular economy business model. Scrap as raw material is added value to waste that would be disposed of in nature and minimizing the use of natural resources, In addition, when steel losses occur in the process, the material can be scrapped and returned as primal matter. The waste generated during production, such as slag, becomes co-products and is sold to companies that use this material as a raw material, making profit for enterprise and developing new job opportunities. With this, one can realize the importance of this business model for the future of society and the environment.

It is also necessary the presence of public policies, laws, and regulations to encourage recycling and regularization of the scrap market. In addition to promoting the

circularity of the proposal, through a commitment of consumers at each stage of the process, qualitative analysis and Saving process losses.

REFERENCES

ABDALLA, F. A.; SAMPAIO, A. C. F. New Innovative Principles and concepts of the Circular Economy. Os novos princípios e conceitos inovadores da Economia Circular [in Portuguese]. **Entorno Geográfico**, v. 15, p. 82-102, 2018. <https://doi.org/10.25100/eg.v0i15.6712>

ABRELPE (2020). Panorama of solid waste in Brazil 2020. **Panorama de resíduos sólidos do Brasil 2020** [in Portuguese]. ABRELPE, 2020.

ALAMEREW, Y. A.; BRISAUD, D. Modelling reverse supply chain through system dynamics for realizing the transition towards the circular economy: A case study on electric vehicle batteries. **Journal of Cleaner Production**, v. 254, 120025, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120025>

ARDELEAN, E.; SOCALICI, A.; LUPU, O.; BISTRAN, D., DOBRESCU, C.; CONSTANTIN, N. Recovery of waste with a high iron content in the context of the circular economy. **Materials**, v. 15, n. 14, 4995, 2022. <https://doi.org/10.3390/ma15144995>

BRANCA, T. A.; COLLA, V.; ALGERMISSEN, D.; GRANBOM, H.; MARTINI, U.; MORILLON, A.; PIETRUCK, R.; ROSENDAHL, S. Reuse and recycling of by-products in the steel sector: Recent achievements paving the way to circular economy and industrial symbiosis in Europe. **Metals**, v. 10, n. 3, 345, 2020. <https://doi.org/10.3390/met10030345>

BRAZIL STEEL INSTITUTE. The Steel Industry in Brazil. A Indústria do Aço no Brasil [in Portuguese]. **Confederação Nacional da Indústria**. Brasília: CNI, 2017.

BRAZIL STEEL INSTITUTE. Sector data: Brazilian steel. **Dados do setor: do aço brasileiro** [in Portuguese]. 2020. Available at: <https://www.acobrasil.org.br/relatoriodesustentabilidade/assets/pdf/PDF-2020-Relatorio-Aco-Brasil-Dados.pdf>

Brazil. Law 12,305 of August 2, 2010, establishes the National Solid Waste Policy; amends Law No. 9605,

of February 12, 1998; and other measures. **Lei 12.305 de 2 de agosto de 2010, institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências** [in Portuguese], 2010.

BROADBENT, C. Steel's recyclability: demonstrating the benefits of recycling steel to achieve a circular economy. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 21, p. 1658-1665, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1081-1>

CHALABYAN, A.; LI, Y.; YUANPENG, S.; ZHOU, J.; TANG, R.; ZHAO, V. **How should steelmakers adapt at the dawn of the EAF mini-mill era in China?** Jaipuria Institute of Management, Noida, 2020.

CONEJO, A. N.; BIRAT, J. P.; DUTTA, A. A review of the current environmental challenges of the steel industry and its value chain. **Journal of Environmental Management**, v. 259, 109782, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109782>

DI SCHINO, A. Circular economy aspects related to steel production. **Journal of Chemical Technology & Metallurgy**, v. 54, n. 1, 2019.

DIAS FILHO, J. M. Qualitative Research: A Path to Understanding Accounting Practices. **Pesquisa Qualitativa: Um Caminho para a Compreensão das Práticas Contábeis** [in Portuguese]. UFBA, Brasil, 2008.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. A Circular Economy in Brazil: An initial exploratory approach. **Uma Economia Circular no Brasil: Uma abordagem exploratória inicial** [in Portuguese]. 2017. Available at: <https://depositorioceds.espm.edu.br/wp-content/uploads/2021/04/UmaEconomiaCircularnoBrasil.pdf>

FRANCONI, A.; CESCHIN, F.; PECK, D. Structuring Circular Objectives and Design Strategies for the Circular Economy: A Multi-Hierarchical Theoretical Framework. **Sustainability**, v. 14, n. 15, 9298, 2022. <https://doi.org/10.3390/su14159298>

GERDAU. Gerdau 2020 Annual Report. **Relato anual Gerdau 2020** [in Portuguese]. São Paulo: Quintal 22, 2020.

- GHAFFAR, S. H.; BURMAN, M.; BRAIMAH, N. Pathways to circular construction: An integrated management of construction and demolition waste for resource recovery. **Journal of Cleaner Production**, v. 244, 118710, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118710>
- GODOY, A. S. Qualitative research: fundamental types. Pesquisa qualitativa: tipos fundamentais [in Portuguese]. **Revista de Administração de empresas**, v. 35, p. 20-29, 1995.
- GONÇALVES, T. M.; BARROSO, A. F. D. F. The circular economy as an alternative to the linear economy. A economia circular como alternativa à economia linear [in Portuguese]. **Proceedings of the XI SIMPROD**, 2019.
- GUARNIERI, P.; CERQUEIRA-STREIT, J. A.; BATISTA, L. C. Reverse logistics and the sectoral agreement of packaging industry in Brazil towards a transition to circular economy. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 153, 104541, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104541>
- HOLAPPA, L. A general vision for reduction of energy consumption and CO2 emissions from the steel industry. **Metals**, v. 10, n. 9, 1117, 2020. <https://doi.org/10.3390/met10091117>
- HORVÁTH, Á. K.; KIS-ORLOCZKI, M.; PAPP, A. T. Possibilities for adopting the circular economy principles in the EU steel industry. In **Solutions for Sustainable Development**, p. 218-226, 2019. CRC Press.
- HUANG, L.; KRIGSVOLL, G.; JOHANSEN, F.; LIU, Y.; ZHANG, X. Carbon emission of global construction sector. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, p. 1906-1916, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.001>
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY IRON AND STEEL. **IEA Steel**, 2019. Available at: <https://www.iea.org/tcep/industry/steel/>
- JESUS, G. M. K.; JUGEND, D.; PAES, L. A. B.; SIQUEIRA, R. M.; LEANDRIN, M. A. Barriers to the adoption of the circular economy in the Brazilian sugarcane ethanol sector. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 25, n. 2, p. 381-395, 2023. <https://doi.org/10.1007/s10098-021-02129-5>
- JONES, M.; HASTINGS-SIMON, S. **Innovators and the development of mini-mills for steel recycling: lessons for the development of a circular economy from the steel industry**. Payne Institute Commentary Series: Viewpoint, 2021.
- KIRCHHERR, J.; REIKE, D.; HEKKERT, M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. **Resources, conservation and recycling**, v. 127, p. 221-232, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
- LARA, A. M. B.; MOLINA, A. A. Pesquisa Qualitativa: apontamentos, conceitos e tipologias. In **Metodologia e Técnicas de Pesquisa nas Áreas de Ciências Humanas**. Maringá: EEduem, 121-172, 2011.
- LI, J.; SONG, G.; CAI, M.; BIAN, J.; MOHAMMED, B. S. Green environment and circular economy: A state-of-the-art analysis. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 52, 102106, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102106>
- MANNHEIM, V. Perspective: Comparison of end-of-life scenarios of municipal solid waste from viewpoint of life cycle assessment. **Frontiers in Built Environment**, v. 8, 991589, 2022. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2022.991589>
- MERCADO, A. Environmental assessment of the Mexican steel industry. In **Industry and environment in Latin America**, p. 218-244. Routledge, 2018.
- MILFORD, R. L.; ALLWOOD, J. M.; CULLEN, J. M. Assessing the potential of yield improvements, through process scrap reduction, for energy and CO2 abatement in the steel and aluminium sectors. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, n. 12, p. 1185-1195, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.05.021>
- MISHRA, A.; DUTTA, P.; JAYASANKAR, S.; JAIN, P.; MATHIYAZHAGAN, K. A review of reverse logistics and closed-loop supply chains in the perspective of circular economy. **Benchmarking: An International Journal**, v. 30, n. 3, p. 975-1020, 2023. <https://doi.org/10.1108/BIJ-11-2021-0669>
- MULVANEY, D.; RICHARDS, R. M.; BAZILIAN, M. D.; HENSLEY, E.; CLOUGH, G.; SRIDHAR, S. Progress towards

a circular economy in materials to decarbonize electricity and mobility. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 137, 110604, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110604>

NECHIFOR, V.; CALZADILLA, A.; BLEISCHWITZ, R.; WINNING, M.; TIAN, X.; USUBIAGA, A. Steel in a circular economy: Global implications of a green shift in China. *World Development*, v. 127, 104775, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2019.104775>

PANDIT, J. K.; WATSON, M.; QADER, A. **Reduction of Greenhouse Gas Emissions in Steel Production**. CO2CRC Ltd, Melbourne, Australia, 2020.

PAULIUK, S.; WANG, T.; MÜLLER, D. B. Moving toward the circular economy: The role of stocks in the Chinese steel cycle. *Environmental science & technology*, v. 46, n.1, p. 148-154, 2012. <https://doi.org/10.1021/es201904c>

PINTO, R. G. D.; SZKLO, A. S.; RATHMANN, R. CO2 emissions mitigation strategy in the Brazilian iron and steel sector—From structural to intensity effects. *Energy Policy*, v. 114, p. 380-393, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.11.040>

RUIZ, L. A. L.; RAMÓN, X. R.; DOMINGO, S. G. The circular economy in the construction and demolition waste sector—A review and an integrative model approach. *Journal of Cleaner Production*, v. 248, 119238, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119238>

SHEVCHENKO, T.; SAIDANI, M.; RANJBARI, M.; KRONENBERG, J.; DANKO, Y.; LAITALA, K. Consumer behavior in the circular economy: Developing a product-centric framework. *Journal of Cleaner Production*, v. 384, 135568, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135568>

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Global status report for buildings and construction. **Global Alliance for Buildings and Construction**: Paris, France, 2020.

VARGAS-JIMÉNEZ, I. The interview in the qualitative research: trends and challengers. La entrevista en la investigación cualitativa: nuevas tendencias y retos [in Spanish]. *Revista Electrónica Calidad en la Educación Superior*, v. 3, n. 1, p. 119-139, 2012. <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n5.51-63>

doi.org/10.22458/caes.v3i1.436

WANG, P.; KARA, S.; HAUSCHILD, M. Z. Role of manufacturing towards achieving circular economy: the steel case. *CIRP Annals*, v. 67, n. 1, p. 21-24, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2018.04.049>

WORLD STEEL ASSOCIATION. Climate change and the production of iron and steel. **World Steel Association**: Brussels, Belgium, 2021.

WORLD STEEL ASSOCIATION. **The steel industry in modern society**. 2020. Available at: <https://worldsteel.org/es/media-centre/press-releases/2020/the-steel-industry-in-modern-society/>

AUTORES

Orcid: <https://orcid.org/0009-0009-5224-3833>

CLARISSA SENA DE ANDRADE | Graduação em Engenharia Civil | Universidade de Pernambuco | Engenharia Civil | Recife, Pernambuco (PE) - Brasil | Correspondência para: Rua Santo Antonio, 550 - Bela Vista, São Paulo-SP | E-mail: clarissasena981@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3276-0621>

ALBERTO CASADO, Dr. | Doutor em Engenharia Civil | Universidade de Pernambuco | Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil | Recife, Pernambuco (PE) - Brasil | Correspondência para: Rua Benfca, 455 - Madalena, Recife - PE, 50720-001 | E-mail: acasado@poli.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6431-447X>

EMANOEL SILVA DE AMORIM | Graduação em Arquitetura e Urbanismo | Universidade de Pernambuco | Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil | Recife, Pernambuco (PE) - Brasil | Correspondência para: Rua Leda, 20 - São Benedito, Olinda - PE | E-mail: esa7@poli.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7804-0959>

GIRLÂNDIA DE MORAIS SAMPAIO | Graduação em Engenharia Civil | Universidade de Pernambuco | Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil | Recife, Pernambuco (PE) - Brasil | Correspondência para: Rua Lagoa dos gatos, 833 - Janga, Paulista-PE | E-mail: gms8@poli.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8673-1298>

DIOGO CAVALCANTI OLIVEIRA | Graduação em Engenharia Civil | Universidade de Pernambuco | Programa de

Pós-Graduação em Engenharia Civil | Recife, Pernambuco (PE) - Brasil | Correspondência para: Av. Domingos Ferreira, 1027 - Pina, Recife-PE | E-mail: dco@poli.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3383-6379>

JOAQUIN HUMBERTO AQUINO ROCHA | Mestrado em Engenharia Civil | Universidade Federal do Rio de Janeiro | Programa em Engenharia Civil | Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (RJ) - Brasil | Correspondência para: Av. Athos da Silveira Ramos, 149 - bl i-110 - Cidade Universitária da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - RJ, 21941-611 | E-mail: joaquinaquino-rocha@gmail.com

JHAR: curadoria de dados, análise formal, validação, visualização, escrita - rascunho original, escrita - revisão & edição.

Declaração de conflito: nada foi declarado.

COMO CITAR ESTE ARTIGO

ANDRADE, Clarissa Sena de; CASADO, Alberto; AMORIM, Emanuel Silva de; SAMPAIO, Gírlândia de Moraes; OLIVEIRA, Diogo Cavalcanti; ROCHA, Joaquim Humberto Aquino. *MIX Sustentável*, v. 9, n. 5, p. 51-63, 2023. ISSN 2447-3073. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: [_/_/_doi: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n5.51-63>](https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n5.51-63).

SUBMETIDO EM: 12/05/2023

ACEITO EM: 23/08/2023

PUBLICADO EM: 31/10/2023

EDITORES RESPONSÁVEIS: Lisiane Ilha Librelotto e Paulo Cesar Machado Ferroli.

Registro da contribuição de autoria:

Taxonomia CRediT (<http://credit.niso.org/>)

CSA: conceituação, curadoria de dados, análise formal, aquisição de financiamento, investigação, metodologia, administração de projetos, validação, visualização, escrita - rascunho original, escrita - revisão & edição.

ACLJ: conceituação, curadoria de dados, análise formal, aquisição de financiamento, investigação, metodologia, administração de projeto, supervisão, validação, visualização, escrita - rascunho original, escrita - revisão & edição.

ESA: curadoria de dados, análise formal, validação, visualização, escrita - revisão & edição.

GMS: curadoria de dados, análise formal, validação, visualização, escrita - revisão & edição.

DCO: curadoria de dados, análise formal, validação, visualização, escrita - revisão & edição.

PRODUÇÃO INDUSTRIAL E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: UMA ANÁLISE DO SEGMENTO ELETROINTENSIVO NO BRASIL

INDUSTRIAL PRODUCTION AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT: AN ANALYSIS OF THE ELECTROINTENSIVE SEGMENT IN BRAZIL

PRODUCCIÓN INDUSTRIAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE - ANÁLISIS DEL SEGMENTO ELECTROINTENSIVO EN BRASIL

FABRÍCIO QUADROS BORGES, Dr. | IFPA - Instituto Federal do Pará, Brasil

MARIA JOSÉ BUCHALL SILVA, Me. | UNAMA - Universidade da Amazônia, Brasil

RESUMO

O objetivo deste artigo é o de analisar estrategicamente a produção industrial eletrointensiva enquanto contribuinte ao processo de desenvolvimento sustentável no país. A relevância desta investigação reside na possibilidade de levantamento de subsídios à tomada de decisão no ambiente público, para o atendimento das demandas sociais conforme as bases do desenvolvimento sustentável. A metodologia, de caráter qualitativo, exploratório e descritivo, aborda a produção industrial mineral no Brasil, por meio de uma análise multidimensional, baseada no tripé do desenvolvimento sustentável. Nesta perspectiva, a técnica de pesquisa utilizada foi a Análise de Conteúdo e o recorte temporal, entre 2018 e 2022. O estudo concluiu que a indústria eletrointensiva no Brasil, por meio das indústrias minerais, não contribui razoavelmente aos esforços endereçados a promoção do desenvolvimento sustentável no país. O segmento mineral brasileiro se apresenta incapaz de agregar efetiva e proporcionalmente valor à produção mineral e não traduz o seu elevado perfil de consumo de eletricidade em resposta às demandas da sociedade brasileira, em decorrência dos altos benefícios fiscais ofertados a este segmento, da natureza primária voltada à exportação por meio de subfaturamento de seus insumos, e da competitividade artificial em que o setor se sustenta.

PALAVRAS-CHAVE

Setor mineral, consumo de eletricidade, sustentabilidade.

ABSTRACT

The purpose of this article is to strategically analyze electro-intensive industrial production as a contributor to the sustainable development process in the country. The relevance of this investigation lies in the possibility of raising subsidies for decision-making in the public environment, in order to meet social demands according to the bases of sustainable development. The methodology, of a qualitative, exploratory and descriptive nature, approaches the industrial mineral production in Brazil, through a multidimensional analysis, based on the tripod of sustainable development. In this perspective, the research technique used was Content Analysis and the time frame, between 2018 and 2022. The study concluded that the electro-intensive industry in Brazil, through the mineral industries, does not reasonably contribute to efforts aimed at promoting sustainable development in the country. The Brazilian mineral segment is incapable of effectively and proportionally adding value to mineral production and does not translate its high profile of electricity consumption in response to the demands of Brazilian society, due to the high tax benefits offered to this segment, due to its primary nature to exports through under-invoicing of its inputs, and the artificial competitiveness on which the sector is sustained.



KEYWORDS

Mineral sector, electricity consumption, sustainability.

RESUMEN

El objetivo de este artículo es analizar estratégicamente la producción industrial electrointensiva como contribuyente al proceso de desarrollo sostenible del país. La relevancia de esta investigación radica en la posibilidad de subsidiar la toma de decisiones en la esfera pública, para atender las demandas sociales de acuerdo con los fundamentos del desarrollo sostenible. La metodología, cualitativa, exploratoria y descriptiva, aborda la producción industrial de minerales en Brasil a través de un análisis multidimensional basado en el trípode del desarrollo sostenible. Desde esta perspectiva, la técnica de investigación utilizada fue el Análisis de Contenido y el marco temporal se situó entre 2018 y 2022. El estudio concluyó que la industria electro-intensiva en Brasil, a través de las industrias minerales, no contribuye razonablemente a los esfuerzos para promover el desarrollo sostenible en el país. El segmento mineral brasileño es incapaz de agregar valor efectiva y proporcionalmente a la producción mineral y no traduce su perfil de alto consumo de electricidad en una respuesta a las demandas de la sociedad brasileña, como resultado de los altos beneficios fiscales ofrecidos a este segmento, el carácter primario orientado a la exportación a través de la subfacturación de sus insumos y la competitividad artificial.

PALABRAS CLAVE

Sector minero, consumo de electricidad, sostenibilidad

1. INTRODUÇÃO

A produção industrial é um dos grandes vetores do crescimento econômico do Brasil. A cada R\$1,00 produzido no setor industrial brasileiro é gerado R\$2,40 para a economia do país. Para se ter uma ideia mais precisa, no setor agrícola, a cada R\$1,00 produzido, R\$1,66 é gerado e no setor comercial, R\$1,49 (CNI, 2023). O setor industrial emprega cerca de nove milhões de trabalhadores no Brasil, o que equivale a 20,4% dos postos de trabalho formais no país (CNI, 2023). A indústria brasileira responde por 35% da energia elétrica consumida no país (EPE, 2021). A possibilidade de redução de custos de produção na atividade industrial está diretamente relacionada a diminuição do consumo de energia elétrica, na medida em que a eletricidade está dentre os três maiores custos de organizações brasileiras (CNI, 2023).

A produção industrial mineral, em particular, compreende uma atividade promotora de desenvolvimento econômico e modificou a realidade de vários países, como Estados Unidos e Austrália (BORGES; BORGES, 2011). A atividade mineral impulsiona a constituição da cadeia de produção, do processo de transformação mineral e produtos oriundos desta indústria. O ambiente da atividade mineral envolve insumos fundamentais em vários setores produtivos da indústria, de maneira a serem empregados na construção civil, cerâmica, metalurgia, fertilizantes, e vários outros. Todavia, a produção mineral consome grande volume de energia elétrica. Este perfil ocorre em virtude desta produção estar vinculada a atividades eletrointensivas, isto é, aquelas que demandam de grandes quantidades de eletricidade para operar máquinas, equipamentos e processos industriais. Dentro do segmento mineral, os segmentos de metalurgia, de produtos minerais não metálicos, o de produtos metálicos e o de extração de minerais metálicos respondem juntos por 41,9% do consumo de energia elétrica, dentre as indústrias brasileiras, o que equivale a 74.993 GWh (EPE, 2022).

A natureza das atividades econômicas, seja ela industrial, comercial ou agrícola, e os seus respectivos perfis de consumo de energia elétrica exercem reflexos dos mais variados diante dos processos de desenvolvimento de regiões e países. O referencial normativo vigente, de desenvolvimento, o sustentável, procura observar aspectos não apenas econômicos, mas também sociais e ambientais na intenção de favorecer ações mais sustentáveis e estrategicamente contribuintes ao atendimento das demandas da sociedade.

Neste sentido, o setor elétrico brasileiro, que engloba

inúmeras políticas de investimento direcionadas ao progresso econômico e o aperfeiçoamento da qualidade de vida da população, possui papel fundamental diante do desafio da sustentabilidade. O desenvolvimento de uma nação está atrelado ao progresso de seu setor elétrico, pois este insumo é diretriz ao aperfeiçoamento de vários outros setores fundamentais como educação, telecomunicações, alimentação, saúde, transporte e outros.

A dinâmica de ampliação econômica de um país está vinculada ao crescimento na oferta de eletricidade produzida a partir de investimentos no setor de energia elétrica (REIS; FADIGAS; CARVALHO, 2012; NARAYAN; DOYTCH, 2017). Contudo, o debate internacional aborda aspectos relacionados ao perfil da intensidade do consumo da eletricidade gerada e sua contribuição à melhoria da qualidade de vida das populações em bases sustentáveis. Nesta perspectiva, este estudo questiona a contribuição estratégica da produção industrial eletrointensiva ao processo de desenvolvimento sustentável no Brasil. Parte-se de duas hipóteses básicas. Na primeira, a produção industrial energointensiva no Brasil, apesar do elevado consumo de energia e dos impactos socioambientais decorrentes da atividade, agrega de maneira consistente ao processo de desenvolvimento sustentável do país. Na segunda hipótese, a produção industrial eletrointensiva brasileira não se constitui em uma atividade que contribua razoavelmente ao processo de desenvolvimento sustentável no Brasil.

O estudo, portanto, possui o objetivo de analisar estrategicamente a produção industrial eletrointensiva enquanto contribuinte do processo de desenvolvimento sustentável no país. Esta investigação, além desta introdução, está dividida em quatro partes a saber: a produção industrial eletrointensiva e o desenvolvimento sustentável; estratégia metodológica, resultados e discussões e considerações finais.

2. A PRODUÇÃO INDUSTRIAL ELE-TROINTENSIVA E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Esta seção versa sobre a base teórica deste estudo e se utilizará das seguintes abordagens: o setor elétrico, enquanto vetor de desenvolvimento de regiões e países; o referencial normativo do desenvolvimento sustentável, enquanto modelo do atual processo de desenvolvimento; e o setor industrial mineral brasileiro, enquanto perspectiva de contribuição ao desenvolvimento sustentável brasileiro.

O setor elétrico constitui-se em uma organização social composta de relações sistêmicas que envolvem desde o processo de transformação da energia primária até a utilização final por tipo de consumidor. Estas relações são constituídas entre os componentes do setor elétrico: geração, transmissão e distribuição. Conforme Reis et al. (2012), a geração de energia elétrica compreende todo o processo de transformação de uma fonte primária de energia em eletricidade e representa uma parte bastante significativa dos impactos ambientais, socioeconômicos e culturais dos sistemas de energia elétrica. A energia elétrica gerada nas centrais percorre um longo caminho até o seu local de utilização. Este percurso envolve os sistemas de transmissão, que interligam a geração aos centros de carga. A distribuição, por fim, compreende a rede que interliga a transmissão aos locais de consumo final.

Em âmbito geral, a dinâmica de funcionamento do setor energético vincula-se ao aumento do consumo, da produção e dos investimentos. Este último, não detém apenas um papel de criar demanda, mas também o de criar nova capacidade produtiva. Assim, quando o investimento é efetuado, a capacidade produtiva se expande. A expansão da capacidade produtiva, permite a expansão do produto. O crescimento do produto induz à expansão da demanda, o que corresponde a uma melhoria do padrão de vida da população, isto é, em desenvolvimento. Deste modo, o setor elétrico nacional possui, a partir de políticas públicas desenvolvidas pelo Ministério de Minas e Energia, o objetivo de direcionar investimentos, com base nos recursos energéticos, econômicos e tecnológicos disponíveis, ao uso eficiente das variadas fontes de geração de eletricidade, procurando atender as demandas setoriais brasileiras.

A eletricidade, enquanto importante componente de infraestrutura também possui papel estratégico, pois favorece ao funcionamento e à dinamização dos setores de atividade econômica. Hirschman (1961) destaca esta importância no atendimento da produção industrial, da sociedade civil e ainda na formação de um ambiente positivo para novos negócios. A infraestrutura é constituída por serviços básicos onde além da energia cita educação, saúde, transporte, poder judiciário, comunicações e saneamento (HIRSCHMAN, 1961). Neste ambiente de discussão, vários autores procuraram entender os meandros das consequências que um direcionamento estratégico de investimentos em energia elétrica pode gerar para o conjunto do processo de desenvolvimento sustentável.

O debate a respeito do processo de desenvolvimento passou a vincular-se a uma preocupação com as

consequências da degradação do meio ambiente no mundo. Isto ocorreu na década de 1960. A conferência sobre o meio ambiente em Estocolmo e a publicação do trabalho intitulado limites do crescimento, de autoria do Clube de Roma, ambas em 1972, demonstraram a continuidade destas preocupações no início da década de 1970. Em 1973, especificamente, pautado nos princípios desenvolvidos por Sachs, surge a definição de ecodesenvolvimento. Em 1974, no México, a Declaração de Cocoyok, promovida pelas Nações Unidas, discutiu modelos de utilização de recursos, meio ambiente e estratégias de desenvolvimento. Em 1975, o relatório de Dag-Hammarskjold buscava modificações nas estruturas de propriedade de campo (KITAMURA, 1994). O primeiro documento de impacto que mencionava o conceito de sustentabilidade propriamente foi o *The World Conservation Strategy*, lançado no começo da década de 80, mas que não detalhava seu significado, e se limitava ao universo biofísico no que trata das ações sugeridas (KITAMURA, 1994).

No entanto, foi no ano de 1987, por meio do Relatório de Brundtland, que surge com mais detalhamento a ideia de desenvolvimento sustentável. O Relatório de Brundtland define o conceito de desenvolvimento sustentável como um processo de mudança no qual a exploração, a direção de investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional estão em harmonia e elevam o potencial corrente e futuro para reunir necessidades e aspirações humanas (WCED 1991). O conceito de desenvolvimento sustentável do Relatório de Brundtland absorve suas ideias de ecodesenvolvimento, visto que este constitui-se em um desenvolvimento em harmonia com a ecologia, e que tem como base, a valorização da diversidade biológica e cultural, a tomada de decisão local e autônoma, o acesso mais equitativo aos recursos naturais e uma estrutura burocracia descentralizada no Estado, entre outras (SACHS, 1986). A seguir, por meio do Quadro 1, observam-se algumas das principais interpretações do desenvolvimento sustentável, que foram classificadas por dimensão.

O desenvolvimento sustentável, enquanto atual referencial normativo de desenvolvimento, deve estar presente em todos os setores de atividade econômica. No setor industrial, os processos de transformação empregados ocasionam frequentemente impactos socioambientais, visto que o segmento industrial compreende atividades produtivas que se vinculam a transformação de insumos para a fabricação de mercadorias.

O ambiente embrionário da indústria foi identificado desde o artesanato direcionado ao consumo próprio

DIMENSÕES DE INTERPRETAÇÃO	FONTES	DEFINIÇÕES DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
PROCESSO INSTITUCIONAL	WCED (1991)	É um processo de mudança no qual a exploração, a direção de investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional estão em harmonia e elevam o potencial corrente e futuro para reunir necessidades e aspirações humanas
	Stahel (1995)	É um processo dentro de padrões do sistema capitalista, ou seja, dentro de um ambiente institucional de uma economia de mercado.
	Ribeiro (2021)	É um modelo econômico que busca conciliar institucionalmente desenvolvimento econômico à preservação e manutenção dos recursos naturais disponíveis.
PROPOSTA CIVILIZATÓRIA	Sachs (1986)	Incorpora um processo de mudança civilizatória onde o desenvolvimento se daria em harmonia com a ecologia, e que tem como alicerce a valorização da diversidade biológica e cultural, a tomada de decisão local e autônoma, e o acesso mais equitativo aos recursos naturais.
	Aragón (1997)	É uma proposta de construção de uma nova civilização baseada fundamentalmente na ética com os princípios de prudência, no cuidado e respeito pela diversidade (biológica e cultural), a solidariedade, a justiça e a liberdade.
FORMULAÇÃO CONTRADITÓRIA	Redclift (1987)	A ideia desta nova ordem de desenvolvimento, entretanto, ignora as correlações de forças que são atuantes no mercado mundial,
	Kitamura (1994)	Definição vinculada a uma ética que incorpora tanto os valores ecológicos quanto espirituais. O problema reside no fato de que os interesses econômicos não são submissos às noções de ética, além de promover uma reestruturação do poder.
	Fenzl (1997)	O conceito convive com problemas decorrentes de sua formulação e abstração, assim como de sua diversidade de interpretações pautadas em interesses específicos de seus usuários.
	Spangenberg (2000)	A lógica desta ideia de desenvolvimento ignora os interesses das nações industrializadas em manter a posição de vantagem no panorama internacional.
PROCESSO DE CRESCIMENTO	Alier (1992)	É uma palavra de ordem da nova ecotecnocracia internacional isto é, vincula-se a um processo de crescimento econômico continuado, relacionando sociedade-ambiente e os limites do crescimento mediante um otimismo tecnológico, artifícios econômicos e mecanismos de mercado.
	Bossel (1999)	É um crescimento harmônico contínuo da economia que permita mudanças de estrutura e melhoria nas características do perfil econômico e social, envolvendo prudência ambiental planejada.
	Bruyn; Drunden (2000)	É um processo de crescimento, bastante discutida na pauta política internacional no que se refere às questões pertinentes à distribuição global de uso de recursos e à qualidade ambiental
	Borges (2007)	É um processo ou condição de crescimento contínuo de uma economia, de modo a permitir uma razoável distribuição concreta da riqueza social através da ampliação do acesso das populações à satisfação de necessidades básicas como saúde, educação, energia, água e saneamento.

Quadro 01: Dimensões de interpretação do desenvolvimento sustentável.

Fonte: Elaboração própria a partir de WCED (1991), Stahel (1995), Ribeiro (2021), Sachs (1986), Aragón (1997), Redclift (1987), Kitamura (1994), Fenzl (1997), Spangenberg (2000), Alier (1992), Bossel (1999), Bruyn; Drunden (2000), Borges (2007).

na Antiguidade. Já a indústria moderna, surgiu com a Revolução Industrial nos Séculos XVIII e XIX, onde os setores da metalurgia, criação de máquinas e tecelagem foram bases de disseminação. A atual indústria contemporânea, por sua vez, caracterizou-se pela produção em escala, intensa mecanização e automação do processo de produção, aumento de produtividade, rendimento máximo das máquinas e pela racionalização do trabalho.

As indústrias não estão distribuídas de maneira uniforme em todas as regiões. O produto e a tecnologia utilizados são determinantes nesta distribuição. Assim, a localização destas indústrias está alicerçada por fatores como: insumos, capital, transportes, água, incentivos fiscais e eletricidade. Neste contexto, a utilização da energia elétrica, como uma mercadoria de grande aceitação e para a finalidade industrial, adquiriu relevância destacada no

avanço da maturidade das economias de escala, e a intensidade do uso do insumo energético passa a ser pautada de atenção.

A intensidade de consumo da energia elétrica, por meio dos setores, tem gerado, a cada dia, preocupação aos governos de vários países e o Brasil não é exceção. A seguir, apresenta-se a participação setorial no consumo de eletricidade no Brasil, entre 2018 e 2020 (Quadro 02).

Destaca-se que, apesar de discretas quedas no consumo do setor, em 2019 e 2020, em decorrência da Pandemia da Covid19, o setor industrial respondeu em 2020 por 35% do consumo de energia elétrica no país, maior participação dentre todos os setores.

BRASIL	2018	2019	2020	Participação % (2020)
	474.820	482.226	475.648	100,0
Residencial	137.615	142.781	148.173	31,2
Industrial	169.625	167.684	166.335	35,0
Comercial	88.631	92.075	82.522	17,3
Rural	29.168	28.870	30.908	6,5
Poder público	15.076	15.752	12.764	2,7
Iluminação pública	15.690	15.850	15.463	3,3
Serviço público	15.778	15.958	16.345	3,4
Próprio	3.238	3.257	3.138	0,7

Quadro 02: Participação setorial no consumo de energia elétrica no Brasil (2018-2020).

Fonte: Elaboração a partir do Anuário Estatístico de Energia Elétrica (EPE, 2021).

No Quadro 03, é possível observar o consumo industrial de energia elétrica no Brasil, por segmento, em 2021, o que destaca a participação da indústria mineral como de perfil eletrointensivo.

SEGMENTO	%	GWh
Metalurgia	24,4	43.613
Produtos alimentícios	13,1	23.417
Químico	10,6	19.024
Produtos minerais não metálicos	8,1	14.547
Extração de minerais metálicos	7,0	12.531
Borracha e material plástico	5,6	9.974
Papel e celulose	5,0	8.937
Têxtil	3,8	6.712
Automotivo	3,6	6.492
Produtos metálicos	2,4	4.302
Outros	16,5	29.551
TOTAL	100,0	179.099

Quadro 03: Consumo Industrial de energia elétrica no Brasil, por segmento (2021).

Fonte: EPE (2022).

De acordo com a EPE (2022), os segmentos de metalurgia, de produtos minerais não metálicos, o de produtos metálicos e o de extração de minerais metálicos respondem juntos por mais de 40% do consumo de energia elétrica nas indústrias brasileiras, o que corresponde a 74.993 GWh. Este perfil compreende foco de preocupação, tendo em vista que as indústrias minerais brasileiras possuem a maior parte de sua produção voltada para a exportação. Esta produção, de baixo valor agregado, cria cada vez mais um número menor de empregos e reduz gradualmente a competitividade tecnológica. A este

panorama, acrescenta-se que, conforme o Observatório da Mineração (2023), a tarifa cobrada no segmento industrial eletrointensivo é notadamente subsidiada, em até 30% em descontos, se comparada a tarifa cobrada ao segmento residencial.

No caso dos Royalties minerais, que compreendem uma Compensação Financeira pela Exploração Mineral - CFEM paga aos territórios onde ocorrem esta exploração, verifica-se a utilização de um método de mensuração com alíquotas fixadas sem critérios técnicos (LIMA, 2013), o que prejudica o cálculo da quantidade extraída de minério.

Desde os últimos anos da década de 2000, o debate internacional, registrado por meio de relatórios sobre a evolução do setor mineral mundial no longo prazo, já apontava que a eficiência da atividade mineral, em responder às demandas da sociedade, tende a depender mais intensamente das políticas públicas (MME/BIRD, 2009). Nos primeiros anos de 2020, diante dos desafios desta atividade por meio das diretrizes imperativas do atual referencial normativo do desenvolvimento sustentável, verifica-se que não houve grandes alterações quanto ao papel que as políticas públicas devem possuir junto a elevação da eficiência na atividade industrial mineral.

3. ESTRATÉGIA METODOLÓGICA

Este estudo é classificado quanto aos seus fins e quanto aos meios, conforme a taxionomia de Vergara (2014). Quanto aos fins é exploratória e descritiva. É exploratória na medida em que envolve um levantamento de dados em direção aos meandros das atividades realizadas por empresas minerais brasileiras. E é descritiva no momento em que descreve os impactos destas atividades diante dos desafios do processo de desenvolvimento sustentável no país. Quanto aos seus meios se utiliza de bases bibliográficas e documentais. Bibliográficas, na medida em que identifica, em revisão, publicações sobre o desenvolvimento sustentável, suas aplicações e sobre as bases da atividade mineral no Brasil. Documentais, no momento em que lança mão de dados e informações primárias, por meio de relatórios e pareceres junto a órgãos do setor de energia elétrica. Esta seção, para fins didáticos, foi dividida em: local de estudo e técnicas de pesquisa.

3.1 Objeto de Estudo

O objeto de análise nesta investigação é o segmento da indústria mineral brasileira de perfil energointensivo

POSIÇÃO	EMPRESA	PRODUTO	Nº. DE OPERAÇÕES	VALOR DA PRODUÇÃO (EM R\$)	% NO VALOR DA PMB
1	A	Minério de Ferro	23	164.255.963.993,49	48,43
2	B	Minério de Ferro	5	20.004.211.531,69	5,89
3	C	Minério de Ferro	2	19.098.758.377,08	5,63
4	D	Minério de Ferro	2	18.578.566.815,77	5,48
5	E	Cobre e Ouro	1	7.949.261.276,65	2,34
6	F	Ouro	1	5.234.008.889,36	1,54
7	G	Minério de Ferro	3	5.213.971.404,03	1,54

Quadro 04: Maiores empresas de produção mineral no Brasil.

Fonte: Revista Brasil Mineral.

de consumo de energia elétrica e se compõe das maiores empresas de produção mineral do Brasil, conforme a Revista Brasileira de Mineração (2022) (Quadro 04).

Neste contexto, a utilização da energia elétrica como uma mercadoria de grande aceitação e para a finalidade industrial adquiriu relevância destacada no avanço da maturidade das economias de escala. A eletricidade combinada à ciência possibilitou o progresso técnico que, por sua vez, alicerçou o desenvolvimento de novos ramos e processos industriais. É na perspectiva deste perfil que o segmento mineral energointensivo de consumo de eletricidade foi selecionado como local deste estudo.

3.2 Técnicas de Pesquisa

A técnica de pesquisa utilizada neste estudo foi a Análise de Conteúdo (BARDIN, 2011), que é um método de exame de dados de investigações qualitativas. Esta técnica foi escolhida na medida em que procura desenvolver uma análise de dados que descreve e caracteriza a realidade da atividade mineral e seus aspectos econômicos, sociais e ambientais, mas que não possuem condição desejáveis de mensuração desta realidade. A Análise de Conteúdo desenvolvida por Bardin (2011), se divide em três etapas: pré-análise; exploração do material; e tratamento dos resultados, inferências e interpretação (Quadro 05).

Esta subseção foi dividida em três partes a saber: coleta de dados, tratamento de dados e análise de dados.

a) Coleta de dados: O recorte temporal desta investigação para a coleta de dados versou sobre o período de janeiro de 2018 à dezembro de 2022. A escolha deste recorte se deu em decorrência da disponibilidade de dados e informações e pela recentidade do período. Nesta fase foram realizadas as duas primeiras etapas da Análise de Conteúdo: pré-análise e exploração do material. Os órgãos que se constituíram como fontes de consulta foram: Agência Nacional de Mineração - ANM; Confederação Nacional da Indústria - CNI; Empresa de Pesquisa Energética - EPE; Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE; Cadastro Geral de Empregados e Desempregados

ETAPAS	DESCRIÇÃO
PRÉ-ANÁLISE	Compreende a fase de organização para a constituição de um <i>corpus</i> , onde: ocorre a escolha de documentos (relatórios, artigos, notícias, editoriais, e livros), formulação de hipóteses e objetivos; e preparação do material.
EXPLORAÇÃO DO MATERIAL	Constitui-se como a fase de codificação e categorização, que é um ponto fundamental da análise de conteúdo, onde: ocorre a elaboração de categorias e indicadores; definição do quadro teórico; e análises exploratórias.
TRATAMENTO DOS RESULTADOS, INFERÊNCIAS E INTERPRETAÇÃO.	Compreende a fase referente às informações fornecidas pela análise, onde: ocorre tratamento dos resultados de modo a serem significativos e válidos; operações estatísticas; e a elaboração de quadros, figuras e modelos que sintetizem as informações fornecidas pela análise.

Quadro 05: Etapas da Análise de Conteúdo.

Fonte: Bardin (2011).

- Caged; Instituto Nacional de Eficiência Energética - INEE; Ministério de Minas e Energia - MME; Balanço Energético Nacional - BEN; Balanço de Energia Útil - BEU; e Agência Nacional de Energia Elétrica - Aneel.

b) Tratamento de dados: Na etapa de tratamento de dados, prezou-se pela organização estratégica dos dados e informações levantadas no processo de coleta de dados, a partir das dimensões econômicas, sociais e ambientais, de maneira a posicionar as atividades verificadas na indústria mineral de consumo energointensivo de eletricidade diante do referencial normativo do desenvolvimento sustentável. O tratamento das dimensões baseou-se em Leoneti et al. (2016), que avaliaram a dimensão ambiental por meio de aspectos relacionados ao ar, água, ocupação da terra, rejeitos e resíduos, energia, materiais, biodiversidade, produtos e serviços (mensurados neste estudo por consumo de energia renovável e impactos). A dimensão social, por meio de práticas de trabalho, cidadania organizacional, parcerias (mensurados nesta investigação, basicamente pelos empregos e uso de eletricidade como apoio a estes empregos). E, por fim, a dimensão econômica, por meio de investimentos (medida neste estudo pelo PIB, exportações e valor agregado). Esta etapa foi ambiente para o desenvolvimento da terceira e última fase da técnica de Análise de Conteúdo,

DIMENSÕES	CATEGORIAS	TOTAL DE CITAÇÕES	
		Produção Industrial	Desenvolvimento Sustentável
ECONÔMICA	Redução gradual da competitividade tecnológica.	9	16
	Contribuinte importante ao PIB do país.	28	25
	Direcionada predominantemente para exportação.	12	19
	Geradora de baixo valor agregado no país.	10	15
SOCIAL	Geradora de empregos diretos e indiretos.	19	17
	Uso de grandes quantidades de eletricidade.	14	38
AMBIENTAL	Consumidora de energia renovável.	21	21
	Promotora de impactos ambientais severos.	12	36
TOTAL		125	187

Quadro 06: Aplicação das bases da técnica de pesquisa de Análise de Conteúdo.
Fonte: Elaboração própria.

isto é, a fase de tratamento dos resultados, inferências e interpretação.

c) Análise de dados: Na etapa análise de dados foram examinados os resultados construídos na fase de tratamento e desenvolveu-se uma análise estratégica, propriamente, a respeito da produção industrial energointensiva de energia elétrica enquanto contribuinte, ou não, ao processo de desenvolvimento sustentável no país.

Diante das categorias identificadas a partir da Análise de Conteúdo, esta seção, para fins didáticos, foi dividida em duas etapas de análise. Na primeira realizou-se uma análise do perfil da atividade mineral energointensiva de consumo de eletricidade na intenção de melhor compreender os meandros desta atividade no tocante ao uso da energia elétrica. Na segunda, realizou-se uma análise da atividade mineral a partir das dimensões: econômica, social e ambiental, na intenção de avaliar a contribuição da atividade mineral diante do processo de desenvolvimento sustentável no país.

A seguir, apresenta-se a quantificação do consumo de energia na extração e produção mineral em empresas eletrointensivas (Quadro 07). Os valores consideraram a energia elétrica líquida necessária a operação mineral padrão, incluindo o total das fontes de energia empregadas, isto é, eletricidade e combustíveis de origem fóssil.

A operação de Cominuição ou fragmentação registra o maior consumo percentual de energia elétrica dentre todas as demais operações desenvolvidas pela atividade mineral, 53%. Normalmente a cominuição é a primeira fase do tratamento mineral e objetiva, a partir de uma rocha, liberar o mineral valioso do mineral de sem valor, denominado de ganga. O procedimento reduz o tamanho das partículas da rocha a uma faixa de interesse. A cada

OPERAÇÃO MINERAL	%
Cominuição (separação do mineral valioso)	53
Movimentação de fluidos (filtração e absorção)	22
Extração/exploração (desmonte) do minério,	12
Flotação e centragem	7
Transporte do minério em cinturões	4
Deposição de rejeitos	1
Outras	1
TOTAL	100

Quadro 07: Quantificação do consumo de energia na atividade mineral em empresas eletrointensivas.
Fonte: Elaboração própria a partir de CEEC (2023).

operação vinculada a atividade mineral é possível verificar aspectos de natureza econômica, social e ambiental que retratam as relações desta atividade com o referencial normativo do desenvolvimento sustentável. Os aspectos sustentáveis nas indústrias minerais de consumo energointensivo de energia elétrica são demonstrados, a seguir, por meio das dimensões: econômica, social e ambiental (Quadro 08).

Este panorama da produção industrial eletrointensiva revela alguns paradoxos e constatações. Na dimensão econômica, verifica-se que o perfil voltado notadamente para as exportações convive com dois aspectos indesejados: a queda verificada no valor do minério; o perfil primário destas exportações, o que detém menor valor agregado em comparação aos demais setores; e a diminuição paulatina da competitividade tecnológica.

No tocante a elevada competitividade, verifica-se que a mesma está alicerçada em uma variedade de benefícios fiscais que estão alocados nas três esferas públicas, o que proporcionam benefícios simultâneos às empresas que atuam na produção industrial eletrointensiva no

TIPOS DE INDÚSTRIA	ASPECTOS SUSTENTÁVEIS		
	Econômico	Social	Ambiental
INDÚSTRIAS DE EXTRAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL	<ul style="list-style-type: none"> ● Consumo 11% da eletricidade do país. ● Gera 3,1% do PIB brasileiro. ● Elevado nível de competitividade de mercado. ● Utilização de subsídios, incentivos, isenções e regimes tributários especiais desde o início da cadeia produtiva. ● Produção voltada predominantemente para a exportação de produto primário. ● Redução gradual da competitividade tecnológica. ● O valor do minério tem reduzido nos últimos 3 anos em decorrência da diminuição das exportações. ● Geração de menor valor agregado em comparação aos demais setores. 	<ul style="list-style-type: none"> ● A participação destas indústrias no emprego formal do país é de 14,9%. ● Registro de inúmeros problemas trabalhistas com demissões, consideradas ilegais pela Justiça do Trabalho. ● Dentre o número de empregos gerados por estas indústrias, menos de 20% são formais. ● Baixo número de postos de trabalho pela natureza da atividade. ● As doenças respiratórias, decorrentes da emissão de particulados, compreende transtorno à saúde dos trabalhadores. ● Subfaturamento fiscal da produção mineral, o que gera perda no potencial de arrecadação fiscal brasileiro em favor da sociedade. 	<ul style="list-style-type: none"> ● A base de geração da energia elétrica utilizada na produção é 53% oriunda de fontes poluentes. ● Emissão de pó preto que degrada a qualidade do ar. ● Emissão de dióxido de carbono, metano, óxido nítrico e óxidos de nitrogênio. ● Quando não recebem destinação correta, os resíduos sólidos destas indústrias, podem acarretar uma série de problemas ambientais. ● Acidentes com resíduos industriais, incluindo os transportes, são frequentes. ● O consumo de eletricidade por estas indústrias é extremamente elevado, o que destaca o seu papel de contribuinte aos impactos socioambientais.

Quadro 08: Aspectos sustentáveis na produção industrial de consumo eletrointensivo.
Fonte: Elaboração própria a partir de BNDS (2023), CNI (2021), IPEA (2021).

Brasil. A tarifa praticada ao setor industrial eletrointensivo é grandemente subsidiada, em até 30% em benefícios, se comparada a tarifa praticada ao setor residencial (OBSERVATÓRIO DA MINERAÇÃO, 2023).

A contribuição deste segmento ao PIB brasileiro é importante, mas perde força se for considerado o perfil intensivo de consumo de eletricidade. Como bem destaca a EPE (2022), o segmento industrial eletrointensivo, por meio da indústria mineral, responde por mais de 2/5 do

consumo industrial de eletricidade no Brasil. Em outras palavras, grande parte da eletricidade consumida no país, não atende as demandas sociais do país, mas aos principais importadores desta eletricidade. Nesta perspectiva de atendimento de demandas sociais no Brasil, apresenta-se, a seguir, o panorama da dimensão social nesse estudo.

Na dimensão social, verifica-se no âmbito dos empregos gerados neste segmento industrial que, apesar de ser responsável por cerca de 15% dos empregos formais do

país, o segmento convive com os numerosos problemas, dentre eles: impasses trabalhistas com desligamentos considerados ilegais; uma representatividade de apenas 1/5 de formalidade empregatícia, considerando a totalidade de empregos gerados neste segmento; e o registro de doenças respiratórias, decorrentes da emissão de particulados, que atingem severamente à saúde dos trabalhadores daquele segmento (IPEA, 2021).

Na dimensão ambiental, o estudo aponta que o segmento industrial eletrointensivo registra mais de 50% de sua base de produção de eletricidade a partir de fontes poluentes, onde a emissão de dióxido de carbono, metano, óxido nitroso e óxidos de nitrogênio, prefiguram como componentes desta poluição. O perfil eletrointensivo deste segmento também funciona como agravante ambiental visto que aumenta a responsabilidade proporcional pelos impactos ambientais decorrentes da prática desta atividade industrial.

É importante destacar aqui, a oportunidade ímpar de reflexão dialética deste estudo, onde a contraposição de ideias alicerçadas pela tensão de opostos e por severas contradições econômicas, sociais e ambientais, permeia a análise do papel do setor elétrico no desenvolvimento sustentável nacional. Neste sentido, destaca-se o direcionamento dos recursos energéticos favoráveis às elites, em detrimento das necessidades de melhoria do padrão de vida dos brasileiros; e a manutenção de um perfil eletrointensivo insustentável para a desenvolvimento socioambiental e até econômico se forem considerados os subsídios alocados neste segmento de atividade eletrointensiva.

Entretanto, a maior das contradições reside no próprio entendimento do que seria desenvolvimento sustentável, que é inicialmente desenhado a partir de um ideário de progresso socioambiental e constatado a partir de alicerces economicistas. Como bem observavam Kitamura (1994) e Fenzl (1997), ainda nos anos de 1990, o problema reside no fato de que os interesses econômicos não são submissos às noções de ética, além de promover uma reestruturação das relações de poder.

Observa-se, a seguir, por meio da Figura 1, a dinâmica dos fluxos de operação na conexão entre o setor de energia elétrica, o setor industrial mineral e as demandas da sociedade brasileira. A dinâmica dos fluxos de operação demonstra que os investimentos em recursos energéticos, realizados pelo setor de energia elétrica brasileiro, gera a criação capacidade produtiva na indústria mineral. Esta criação de capacidade produtiva promove a expansão da oferta de minério. Esta expansão de oferta do

produto mineral não se traduz diretamente atendimento das demandas sociais, na medida em que seguem dois fluxos.

No primeiro fluxo, ocorre uma Compensação Financeira de Exploração Mineral - CFEM, que é uma contrapartida financeira paga pelas indústrias minerais para a União, para os Estados federativos, para o Distrito Federal e para os Municípios pelo uso econômico dos recursos minerais nestes territórios. Contudo, a CFEM pela produção mineral no Brasil, como bem observa Lima (2013), se utiliza de uma metodologia de cálculo com alíquotas fixadas sem critérios técnicos e ainda não permite a justa apropriação pela sociedade dos lucros extraordinários de algumas jazidas operadas por grandes empresas. Panorama que permanece nos primeiros anos de 2020.

No segundo fluxo, o minério é exportado para os seguintes países: China, Malásia, Japão, Países Baixos, Omã, Barein, Coreia do Sul, Turquia, França e Argentina. A China fica com o maior percentual das exportações brasileiras de minério, 59% (IBRAM, 2023). Todavia, empresas na Suíça é que são as compradoras de 90% do valor exportado de minério pelo Brasil; o que ocorre é um procedimento de indústrias minerais do Brasil venderem a preços subfaturados para intermediárias suas na Suíça, que por sua vez, realizam a revenda final a preços de mercado aos destinatários finais da commodity, mesmo sem o minério entrar em território suíço (IJF, 2023). O produto desse subfaturamento é a diminuição de receitas nas indústrias minerais exportadoras do Brasil e conseqüente perda no potencial de arrecadação fiscal brasileiro. Os impostos que incidem na exportação mineral são: Imposto de Renda Pessoa Jurídica - IRPJ; Contribuição Social sobre Lucro Líquido - CSLL; Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social - Confins; Programa de Integração Social - PIS/PASEP; Imposto sobre Operações Relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual, Intermunicipal e de Comunicação - ICMS.

Em suma, a dinâmica dos fluxos de operação na conexão entre o setor de energia elétrica, o setor industrial mineral e as demandas da sociedade brasileira auxilia no entendimento e em uma razoável mensuração de perdas desde os investimentos operados pelo setor elétrico brasileiro até o atendimento das necessidades da população brasileira.

Nesta perspectiva, destaca-se que a hipótese contemplada nesta investigação é a de que a produção industrial eletrointensiva brasileira não se constitui em uma atividade que contribua razoavelmente ao processo de

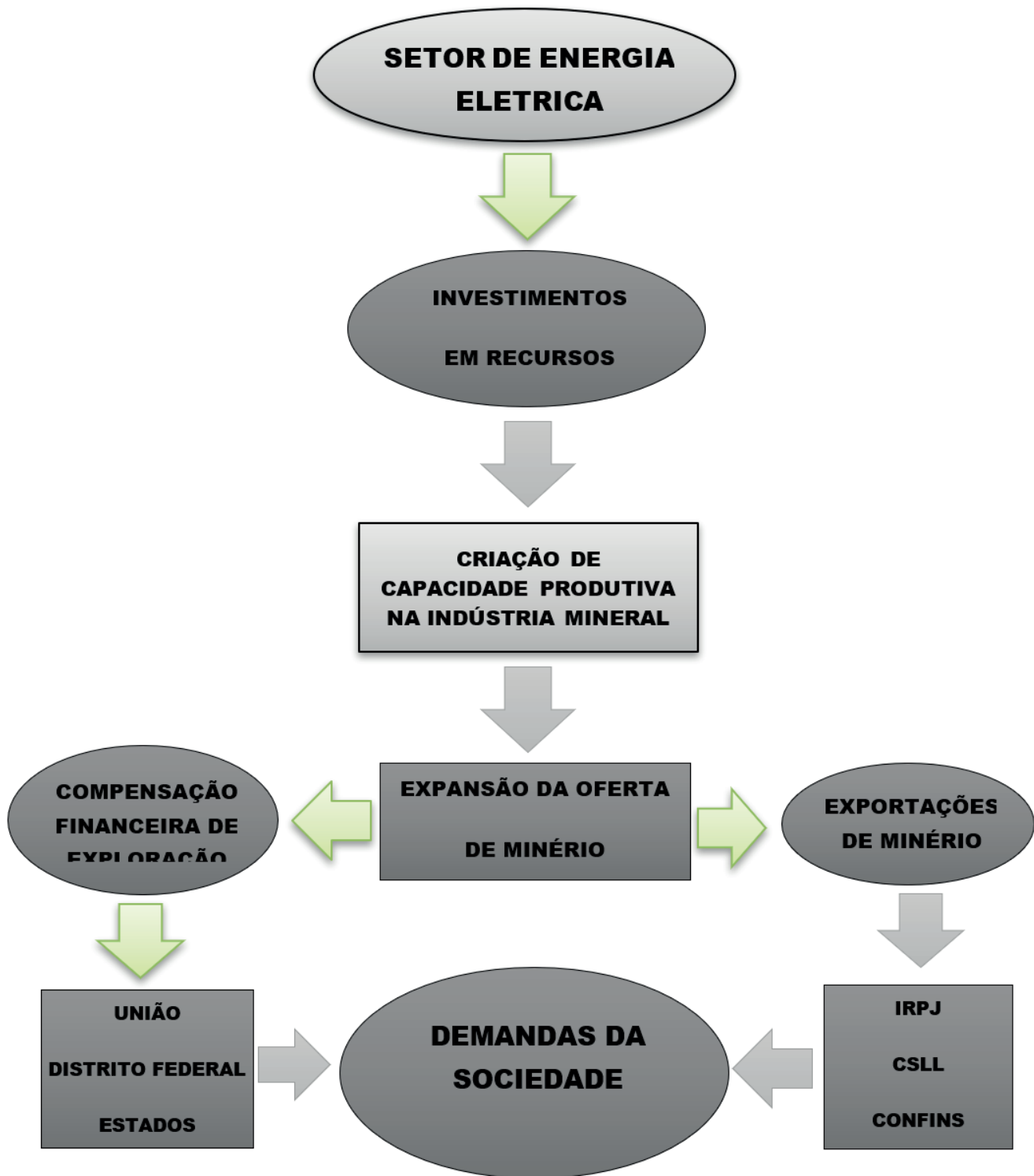


Figura 01: Dinâmica dos fluxos de operação na conexão entre o setor de energia elétrica, o setor industrial mineral e as demandas da sociedade brasileira.
Fonte: Elaboração própria.

desenvolvimento sustentável no Brasil. Trata-se de uma realidade que carece de ajustes pertinentes ao estímulo de mecanismos que direcionem estrategicamente o perfil industrial brasileiro a ser contribuinte à desconcentração de renda e à elevação do rendimento energético da eletricidade no país.

Esta necessidade de ajustes deve residir no ambiente das políticas públicas, visto que a eficiência da exploração mineral, em responder às demandas da sociedade, tende a depender mais intensamente das políticas públicas (MME/BIRD, 2009). Esta constatação, registrada originalmente nos últimos anos da década de 2000, por meio de

DIMENSÃO	PROPOSTA DE AÇÃO
ECONÔMICA	<ol style="list-style-type: none">1. Estimulo à mecanismos que direcionem o perfil industrial brasileiro para a condição de contribuinte à desconcentração de renda, isto é, promovendo alterações na composição das exportações da indústria pesada.2. Promoção de incentivos à eficiência energética buscando a redução da dependência de importações energéticas.3. Redução dos exagerados subsídios direcionados à indústria mineral brasileira.
SOCIAL	<ol style="list-style-type: none">1. Ampliação do uso de fontes de geração alternativas à fonte hídrica como catalizadoras de empregos diretos e indiretos.2. Redução da jornada de trabalho nas indústrias energointensivas para gerar novos postos de trabalho.3. Favorecimento de incentivos à eficiência energética na intenção de criar empregos no setor.
AMBIENTAL	<ol style="list-style-type: none">1. Incorporação de dispositivos compensatórios dos custos ambientais no setor a partir de mecanismos contábeis de formação de preços.2. Implementar investimentos em eficiência energética com o propósito de reduzir níveis de poluição.3. Subsídios ao início das operações de geração de fontes de energia alternativa no setor, notadamente a solar e biomassa.

Quadro 09: Estrutura para orientação de políticas públicas ao setor industrial eletrointensivo, por dimensão.

Fonte: Elaboração própria.

relatórios internacionais sobre a evolução do setor mineral mundial no longo prazo, continua se mantendo como um axioma nesta temática. A seguir, apresenta-se uma estrutura para orientação de políticas públicas ao setor industrial eletrointensivo, por dimensão (Quadro 09).

As propostas de ações dentro do ambiente do setor industrial eletrointensivo, consideraram as dimensões econômica, social e ambiental, por comporem o tripé do desenvolvimento sustentável. A concepção destas propostas parte do princípio de que a eficiência da atividade industrial, em responder às demandas da sociedade, tende a depender mais notadamente das políticas públicas.

Nesta perspectiva, o levantamento de subsídios ao processo de tomada de decisão no setor elétrico e no setor industrial, deve estar alinhado estrategicamente às bases do referencial normativo vigente, que é o do desenvolvimento sustentável.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do desafio que questiona a contribuição estratégica da produção industrial eletrointensiva ao processo

de desenvolvimento sustentável no Brasil e ainda procura levantar subsídios à tomada de decisão no ambiente público do segmento de eletricidade a luz das dimensões da sustentabilidade, o estudo inferiu que o segmento industrial mineral brasileiro, por meio de seu perfil eletrointensivo, não contribui razoavelmente aos esforços endereçados ao processo de desenvolvimento sustentável no país.

O setor mineral brasileiro se apresenta incapaz de agregar efetiva e proporcionalmente valor à produção mineral e não traduz o seu elevado perfil de consumo de eletricidade em resposta às demandas da sociedade brasileira, em decorrência dos altos benefícios fiscais ofertados a este segmento, da natureza primária voltada à exportação por meio de subfaturamento de seus insumos, e da competitividade artificial em que o setor se sustenta.

O produto desta investigação detém condições de contribuição ao processo decisório no segmento de energia elétrica, pois a compreensão multidimensional dos meandros que envolvem as relações entre a produção industrial eletrointensiva e o desafio do desenvolvimento sustentável são instrumentos que podem ser capazes de identificar estratégias eficazes ao enfrentamento dos gargalos no tocante ao papel do insumo elétrico enquanto contribuinte natural ao processo de desenvolvimento sustentável.

Quanto ao fornecimento de diretrizes a futuras pesquisas, este estudo sugere avanços em direção a outras dimensões de análise como a política e a tecnológica, que também poderão contribuir para a compreensão das dinâmicas energéticas verificadas no segmento industrial eletrointensivo brasileiro.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - Aneel. **Proposta de indicadores de sustentabilidade energética da Aneel**. Brasília: Aneel, 1999.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO - ANM. **Informe mineral estado do Pará**. Belém: ANM, 2018.

ARAGÓN, L. E. Desenvolvimento sustentável e cooperação internacional. In: XIMENES, Tereza (Org.) **Perspectivas do desenvolvimento sustentável**. Belém: NAEA/UFPA, 1997. p. 577-604.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.

BASSEN, A.; KOVÁCS, A. M. Environmental, Social and Governance Key Performance Indicators from a Capital Market Perspective. In: **Corporate governance and business ethics**. Brink, A. e Birger, P. (Orgs.) S/I: www.zfwu 9/2, p. 182-192, 2008.

BERMANN, C. **Energia no Brasil: para quê? Para quem? Crise e alternativas para um país sustentável**. São Paulo: Livraria da Física, 2003.

BORGES, F. Q. **Setor elétrico e desenvolvimento no Estado do Pará: uma análise estratégica de indicadores de sustentabilidade energética**. Belém: UFPA/NAEA, 2007.

BORGES, F. Q.; RODRIGUES, I. M.; OLIVEIRA, A. S. P. Paradoxo da energia elétrica no estado do Pará: um estudo dos fatores que contribuem às altas tarifas residenciais (2005-2014). Observatorio de la Economía Latinoamericana. **Servicios Académicos Intercontinentales**. Málaga: Issue 231, May, 2017.

BORGES, F. Q. Indicadores energéticos no segmento industrial: uma contribuição preliminar para a discussão dos aspectos socioambientais no Pará. **Unifunec científica multidisciplinar**, São Paulo, v.10, n.12, p.1-12, 2021. Disponível em: <https://seer.unifunec.edu.br/index.php/rfc/article/view/5173>. Acesso em: 14 mar. 2023.

BORGES, F. Q., & BORGES, F. Q. Royalties minerais e promoção do desenvolvimento socioeconômico: uma análise do projeto carajás no município de Parauapebas no Pará. **Planejamento e Políticas Públicas**, (36). 2011.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI. **Publicações**. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/cni/> Acesso em: 20 de jan. 2023.

COALITION FOR ECO EFFICIENCY COMMINUTION – CEEC. 2023. **Relatório Técnico**. Disponível em: <https://www.ceecthefuture.org/> Acesso em: 15 de mar. 2023.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA - CNI. **Estatísticas**. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/cni/> Acesso em: 14 de março de 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt> Acesso em: 14 de março de 2023.

GLAVIC, P.; LUKMAN, R. Review of sustainability terms and their definitions. **Journal of Cleaner Production**, v.15, p.1875-1885, 2007.

HELIO INTERNATIONAL. **Guidelines for observe: reporters**. Disponível em: <http://www.helio-international.org>. Acesso em 20 de outubro de 2005.

HIRSCHMAN, A. O. **Estratégia do desenvolvimento econômico**. Rio de Janeiro: Fundo da Cultura, 1961.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO - IBRAM. **Notícias**. Disponível: <https://ibram.org.br/noticias/> Acessado em: 20 de janeiro de 2022.

INSTITUTO JUSTIÇA FISCAL. **Comunicação**. Disponível em: [juhttps://ijf.org.br/](https://ijf.org.br/). Acessado em: 15 de agosto de 2022.

KITAMURA, P. C. A **Amazônia e o desenvolvimento sustentável**. Brasília: EMBRAPA, 1994.

LEONETI, A.; NARAZAWA, A.; OLIVEIRA, S. Proposta de índice de sustentabilidade como instrumento de autoavaliação para micro e pequenas empresas (MPEs). **Revista de Gestão**, v.23, p. 349–361, 2016.

LIMA, P. C. R. Compensações financeiras no setor mineral. Consultoria Legislativa. **Estudos: Recursos minerais, hídricos e energéticos**. Outubro, 2013.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME / BANCO MUNDIAL – BIRD. Relatório Técnico 5. **Evolução do Mercado Mineral Mundial a longo prazo**. Junho/2009.

NAAYAN, S.; DOYTCH, N. An investigation of renewable and non-renewable energy consumption and economic growth nexus using industrial and residential energy consumption. **Energy Economics**. V.68, October, p. 160-176, 2017.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU. **Report of the secretary general commission on sustainable development: Work program on indicators of sustainable development**. New York: UN/E/CN, 1995.

REIS, L. B.; FADIGAS, E. A. A.; CARVALHO, C. E. **Energia**,

recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável. São Paulo: Manole, 2012.

REVISTA BRASIL MINERAL. **Notícias**, 2023. Disponível em: <https://www.brasilmineral.com.br/>

RIBEIRO, A. Infoescola. **Desenvolvimento sustentável**. 2021. <https://www.infoescola.com/geografia/desenvolvimento-sustentavel/> Acessado em: 20 de fevereiro de 2023.

SACHS, I. Estratégias de transição para o século XXI. In: BURSZTYN, M. (Org.) **Para pensar o desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Brasiliense, 1993.

SILVA, J. F. B. A.; REBOUÇAS, S. M. D. P.; ABREU, M. C. S. DE; RIBEIRO, M. da C. R. Construção de um índice de desenvolvimento sustentável e análise espacial das desigualdades nos municípios cearenses. **Rev. Adm. Pública** [online]. Rio de Janeiro 52(1):149-168, jan.-fev., 2018.

STAHEL, A. W. **Capitalismo e entropia: os aspectos ideológicos de uma contradição e a busca de alternativas sustentáveis**. São Paulo: Cortez, 1995.

VERGARA, S. C. **Projetos de relatórios de pesquisa em administração**. São Paulo: Atlas, 2014.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT DEVELOPMENT - WCED. **Uma visão geral**. Oxford: Universidade de Oxford, 1991.

AUTORES

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1326-959X>

FABRICIO QUADROS BORGES, Dr. | Pós-Doutorado pelo IPEN/USP. Doutorado em Desenvolvimento pelo NAEA/UFPA | Instituto Federal do Pará | Gestão Pública | Belém, PA - Brasil | Correspondência para: Av. Alm. Barroso, 1155 - Marco, Belém - PA, 66093-020. | E-mail: posdoctorborges@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2898-8220>

MARIA JOSÉ BUCHALLE SILVA, Me. em Administração pela UNAMA. Doutoranda em Administração pela UNAMA | Universidade da Amazônia | Administração | Belém, PA - Brasil | Correspondência para: Av. Alcindo Cacela, 287 - Umarizal, Belém - PA, 66060-902. | E-mail: mbuchalle@hotmail.com

COMO CITAR ESTE ARTIGO

BORGES, Fabricio Quadros; SILVA, Maria José Buchalle. *MIX Sustentável*, v. 9, n. 5, p. 65-78, 2023. ISSN 2447-3073. Disponível em: <http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>. Acesso em: [_/_/_doi: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n5.65-78>](https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n5.65-78).

SUBMETIDO EM: 18/03/2023

ACEITO EM: 19/06/2023

PUBLICADO EM: 31/10/2023

EDITORES RESPONSÁVEIS: Lisiane Ilha Librelotto e Paulo Cesar Machado Ferroli.

Registro da contribuição de autoria:

Taxonomia CRediT (<http://credit.niso.org/>)

FQB: conceituação, análise formal, investigação, metodologia, visualização, curadoria de dados, escrita - rascunho original, escrita - revisão & edição.

MJBS: análise formal, escrita - revisão & edição.

Declaração de conflito: nada foi declarado.

DEVELOPMENT OF A MATERIAL WITH ELASTOMER WASTE

DESENVOLVIMENTO DE MATERIAL COM RESÍDUOS DE ELASTÔMEROS

DESARROLLO DE MATERIAL CON ELASTÓMEROS DE DESECHO

CLARA ANDREZZO, Ma. | UNIVILLE - Universidade da Região de Joinville, Brasil

DANILO CORRÊA SILVA, Dr. | UNIVILLE - Universidade da Região de Joinville, Brasil

NOELI SELLIN, Dra. | UNIVILLE - Universidade da Região de Joinville, Brasil

ANNA LUIZA MORAES DE SÁ CAVALCANTI, Dra. | UNIVILLE - Universidade da Região de Joinville, Brasil

ANDRESA DE OLIVEIRA, Esp. | UNIVILLE - Universidade da Região de Joinville, Brasil

ABSTRACT

Elastomers for industrial use are mostly thermosetting polymers, which are difficult to recycle. Thus, this material is commonly used for energy recovery, wasting most of its potential. One of the alternatives to the reuse of this residue is its use in composite materials. There are reports in the literature on the development and applications of composites reinforced with plant fibers or industrial waste. The aim of this paper is to present the development of a composite using elastomers waste generated in the company MicroJuntas Ltda., located in Joinville/SC. This article is an excerpt from a Professional Master's in Design project, structured according to the Design Science Research methodology. The proposal is to use a particulate rubber residue as a reinforcement phase in different proportions in a composite based on biodegradable vegetable polyurethane (PUR). Visual and empirical evaluations indicate that the proportion of 70% of residue presents the best properties of cohesion, texture, and uniformity. It is concluded that the material developed has potential for application in products, especially those formed by compression, a process that facilitates the cohesion and uniformity of the artifact. Therefore, it is possible to use this by-product in new artifacts with added value, reducing the impacts of its disposal on the environment.

KEYWORDS

Elastomers; industrial waste; Design for sustainability; vegetable oil polyurethane; composite materials.

RESUMO

Elastômeros de uso industrial são majoritariamente materiais poliméricos termofixos, de difícil reciclagem. Assim, esse material é comumente destinado à recuperação energética, desperdiçando suas potencialidades. Uma das alternativas ao reuso desse resíduo é o seu aproveitamento em materiais compostos, os compósitos. Há relatos em literatura sobre o desenvolvimento e aplicações de compósitos reforçados com fibras vegetais ou resíduos da indústria. O objetivo deste artigo é apresentar o desenvolvimento de um compósito utilizando os resíduos de elastômeros gerados na empresa MicroJuntas Ind. e Com. Ltda., localizada em Joinville/SC. Esse artigo se constitui de um recorte de um projeto de Mestrado Profissional em Design, estruturado segundo a metodologia Design Science Research. Foi proposto o uso de um resíduo particulado de borracha como reforço em diferentes proporções em um compósito à base de poliuretano vegetal biodegradável (PUR). Análises visuais e empíricas indicam que a proporção de 70% de resíduo apresenta as melhores propriedades de coesão, textura e uniformidade. Conclui-se que o material desenvolvido tem potencial para aplicação em produtos, principalmente aqueles formados a partir de compressão, processo que facilita a coesão e uniformidade do artefato. Com isso, é possível utilizar esse subproduto em novos produtos com valor agregado, reduzindo os impactos do



seu descarte no meio ambiente.

PALAVRAS-CHAVE

Elastômeros; resíduos industriais; Design para a sustentabilidade; poliuretano vegetal; compósitos.

RESUMEN

Los elastómeros de uso industrial son principalmente materiales poliméricos termoestables de difícil reciclaje. Por lo tanto, este material suele destinarse a la recuperación de energía, desaprovechando su potencial. Una de las alternativas para reutilizar este residuo es su utilización en materiales compuestos, los compuestos. Existen informes en la literatura sobre el desarrollo y las aplicaciones de compuestos reforzados con fibras vegetales o residuos de la industria. El objetivo de este artículo es presentar el desarrollo de un compuesto utilizando los residuos de elastómeros generados en la empresa MicroJuntas Ind. e Com. Ltda., Joinville/SC. Este artículo forma parte de un proyecto de Maestría Profesional en Diseño, estructurado según la metodología de Investigación en Ciencias del Diseño. Se propuso utilizar un residuo de goma particulado como refuerzo en diferentes proporciones en un compuesto a base de poliuretano vegetal biodegradable (PUR). Análisis visuales y empíricos indican que la proporción del 70% de residuos presenta las mejores propiedades de cohesión, textura y uniformidad. Se concluye que el material desarrollado tiene potencial para su aplicación en productos, especialmente aquellos formados por compresión, un proceso que facilita la cohesión y uniformidad del artefacto. De esta manera, es posible utilizar este subproducto en nuevos productos con valor agregado, reduciendo el impacto de su eliminación en el medio ambiente.

PALABRAS CLAVE

Elastómeros; residuos industriales; diseño para la sostenibilidad; poliuretano a base de aceite vegetal; materiales compuestos.

1. INTRODUCTION

Polymers, popularly known as plastics, are widely consumed materials today in several markets. Among the polymers are the elastomers, also known as rubbers, which have the ability of their length to be elongated several times and then return to their original length (LESKO, 2012).

Like other types of polymers, elastomers are also commonly discarded improperly after use. Most of the elastomeric polymers used in industry are difficult to reuse or recycle because they are thermosetting materials. This is due to its chemical structure with cross-links between molecules, making it difficult to reshape by heating. In addition, they are materials that are difficult to decompose.

Due to this difficulty, Andrietta (2002) states that elastomeric waste is almost always deposited in inappropriate places, that is, when they are not sent to industrial landfills, they are incinerated or discarded directly into the environment. This causes a series of problems such as the silting up of rivers, the proliferation of venomous insects and the release of polluting gases when burned. Thus, a more suitable option for the environment would be the reuse of this material by the productive sector itself.

This article specifically addresses the problem related to waste generated in the production process of elastomeric components of a company in Joinville/SC. This company produces rubber products and gaskets with different compositions and formats, generating around 40 tons of waste monthly.

Currently, this company sends this waste to the specialized collection, which is subsequently co-processed through energy recovery (burning), mainly in the cement industry. Although it is a destination superior to a landfill, it still does not take advantage of the potential of this material, which often has excellent physical and chemical characteristics.

With this, the objective of this work is to report the development of a composite material from the elastomeric waste of this company. This development makes it possible to reintroduce waste into a new life cycle since design artifacts can be produced from the material.

This work is also a part of a master's in Design project, in which it is possible to find more complete and detailed information on the development (ANDREZZO, 2022). The methodology used to structure the entire proposal was Design Science Research (DRESH; LACERDA; ANTUNES, 2015).

In this article, a theoretical review and empirical development of the material are presented. Preliminary analyses and considerations are also presented on the

use of the material developed to support future applications in product design.

2. THEORETICAL REVIEW

2.1. Elastomers

Polymers are formed by the union of smaller molecules (monomers) in long chains in a process called polymerization, generating rigid or flexible materials. Its industrialization happened quickly, becoming one of the symbols of the consumer society (KULA; TERNAUX, 2012).

Elastomers are polymers with great elasticity, that is, they can be stretched and return to their original shape with tension relief. According to Lesko (2012), in addition to withstanding elongation, elastomers are characterized by their resistance to abrasion, good retention of properties when exposed to heat, oxidation and ozone, good electrical properties and excellent impermeability to gases.

They are commonly formed by more than one monomer and, for the most part, are thermosetting, that is, they cannot be heated and remolded. Cross-links between molecules act as anchors, which prevent the material from melting (MARKL; LACKNER, 2020).

Natural rubber is a well-known example of this group of materials. It is produced from the sap of the rubber tree (latex) and still occupies a considerable part of the elastomers used. Virgin rubber goes through the vulcanization process, which is the addition of sulfur to the rubber, under heating and with the use of catalysts (THOMPSON, 2015).

According to Paulo and Saron (2009), the chemical structure of the material is what gives elastomers their elastic properties. Elastomers are formed by long polymeric chains that, when vulcanized, become entangled, forming crosslinks (Figure 01) that elongate more under tension, resulting in a reduction in the entropy of the system. Because it is not a spontaneous process, the polymeric chains return to the entangled condition

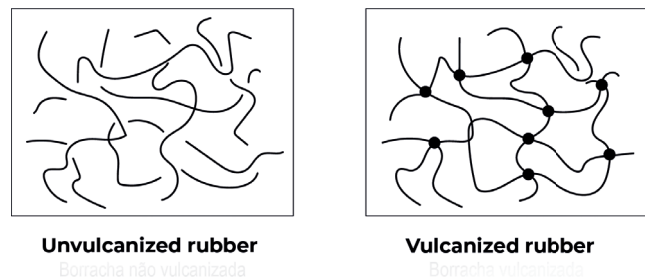


Figure 01: Cross-links of vulcanized rubber.
Source: adapted from Brito (2009, p. 18).

when the tension is removed from the material, causing its contraction.

2.1.1. Processes of reuse of elastomers

The high purchase cost of natural rubber has been a stimulus for recycling since the product's growth in the industry. With records dating back to 1909, in Germany, crushing and separation of rubber were already carried out, which made the by-product available to the industries that produced rubber products. With the lack of investment and technology at the time, interest in carrying out this recycling was lost (LAGARINHOS; TENÓRIO, 2008).

There are several studies on the recycling of elastomers and therefore different processes can be applied. These processes have been studied in thermomechanical, chemical, ultrasound-based, microwave-assisted, and biological devulcanization methods, among others (MARKL; LACKNER, 2020).

Thermal processes are those in which high temperature is applied in an autoclave. To carry out this procedure, first, the residues are turned into crumbs or powder to better adhere to the solvent and reagents. Then, the residues and solvents and reagents are placed in the autoclave, which is sealed and then heated at 180 °C for 1 h. In this process, it is even possible to reach devulcanization levels of up to 100% for gum rubbers, whereas in composite rubbers the levels obtained are lower (FORREST, 2014).

About this process, when done on a large scale, the devulcanization reaction takes a long time to complete. On the other hand, the process can be used relatively quickly on a small scale, in a controlled manner, being a good resource for investigating and analyzing changes in parameters such as time, temperature and chemical agents to analyze the feasibility of scaling (FORREST, 2014).

The thermal process with chemical reagents follows the same process mentioned above, with the addition of chemical agents seeking a better incorporation of these in the rubber matrix previously impregnated with solvents and achieving the desired properties for the material. Chemical devulcanization can occur by oils and chemical reagents, in which the most used are thiosalicylic acid and diphenyl disulfide, or by organic solvents which are based on the use of alcohols and ketones as agents and finally inorganic compounds used as solvents toluene, naphtha, benzene and cyclohexane (MAGALHÃES, 2015).

One of the alternatives for the mechanical recycling of thermoset elastomers is through microwaves, which can be considered a kind of thermal process, as it uses

microwave energy to devulcanize the rubber through heat. A requirement to make use of this technique is that the rubber compound must be polar enough to absorb microwave energy effectively. Thus, the additives present in rubber greatly influence the result (MAGALHÃES, 2015).

Another issue with the process is that it can be difficult to control how fast the temperature of the rubber can rise, requiring a cooling unit to be used at the end of the process to remove heat and reduce the possibility of material degradation (FORREST, 2014).

The mechanical process is when the rubber is subjected to shearing, also at a temperature above that of the environment, but no chemical agent is used. The lack of chemical agents, in turn, can be considered beneficial in several aspects such as reduced cost, reduced odor, health and safety and the environmental point of view (GONZALEZ; SANTANA, 2012).

As with thermal procedures, mechanical processes can add chemical agents to aid the technique. The mechanical process with chemical reagents uses a substance at temperature and pressure above its critical point (supercritical fluid) that is compatible with the rubber being devulcanized. In this, the rubber expands inside the equipment and facilitates devulcanization, increasing the grinding effect. But, unlike the thermal process that is done in an autoclave, in the mechanical one it is more difficult to keep the fluid in a state of high performance due to leaks and loss of pressure (FORREST, 2014).

It is observed that the density of new crosslinks formed during vulcanization after the mechanical devulcanization process with chemical reagents is higher compared to those that were not dissociated during devulcanization (MAGALHÃES, 2015).

Another procedure is that of micronization, in which the elastomer is crushed and is then called a crumb or granule. The process is done by cutting, shearing, or impacting, or a combination of one or more processes. The environment where micronization is carried out can be moisture, ambient, or cryogenic conditions. When the residue is very large, such as tires, before the grinding or fragmentation step, it must be cut. Fragmentation takes place through knives or other types of cutters such as granulators, rotary cutters, and shredders, generating pieces of rubber with sizes ranging from centimeters to millimeters (MAGALHÃES, 2015).

The granules obtained in the process become suitable due to the purity obtained and their relatively high surface area, being a positive point for the devulcanization process when incorporated with other materials. This

material is then used as filler in other polymers and re-processed with rubber by melting and molding. With this, it is possible to generate products such as impact floors, insulation, asphalt paving and the similar products (THOMPSON, 2015).

The ultrasonic process uses the energy captured by ultrasonic waves to break the crosslinks. 50 kHz of ultrasonic waves are applied for 20 minutes to the vulcanized rubber. But, for devulcanization to occur quickly, the breaking of chemical bonds of sulfur atoms (S-S) causes degradation of the polymer chain, decreasing its molecular weight. However, as a result, the rubber devulcanized by ultrasonic energy has a low density of crosslinks, which makes the material fluid and flexible, allowing its use to be reprocessed and vulcanized again. One of the advantages of this process is the fact that it dispenses with the use of chemical agents, which leads to a lower cost and some health and safety factors do not need to be considered, compared to other procedures (FORREST, 2014; MAGALHÃES, 2015).

The microbiological process utilizes chemolithotrophic bacteria (the term refers to organisms that use organic and inorganic chemical compounds, and light energy as an energy source) in an aqueous medium with the assistance of oxygen to selectively promote the scission of the cross-links of the rubber. The process causes biodegradation, using bacteria such as chemolithotrope and *Thiobacillus* for devulcanization. The process takes days and reaches more of the outer layers of rubber, making it difficult to reach the inner layers (MAGALHÃES, 2015).

The cryogenic process requires grinding the rubber after it has been cooled close to its glass transition temperature, at which the rubber becomes rigid. As such, the rubber is subjected to impact and shear forces, and the material does not need to be torn apart, resulting in rubber granules between 30 and 120 mesh. Cooling is done using liquefied gases (nitrogen, nitrogen) or just by air (FORREST, 2014).

Another way to fragment rubber is by using high-pressure water. With this technique, it is possible to produce particles with a size below 200 μm . As with the cryogenic process, this technique has the advantage that cutting removes heat from the rubber which reduces material degradation (FORREST, 2014).

Some of the benefits are there is no limitation on the size of the waste, the technique does not require chemical products, the water used in the process can be recycled by 75%, it does not require a lot of energy or tools as it uses water as an energy source. Another point is that during the process the separation of materials already

occurs, making it easier to separate the rubber from other materials that are mixed in it (HOLKA; JARZYNA, 2017).

Another rubber fragmentation process is grinding by Cracker Mill. This machine uses a roller with a corrugated surface rotating to one side and the other rollers rotating in the opposite direction and the rubber enters for grinding through a gap between the rollers. Generally, the material is prepared in a crusher before being submitted to the mill and when leaving this the rubber is sieved to separate the granules by size (FORREST, 2014). This process can cause a lot of degradation generated by the friction of the rubber and the particles that stick together even using a separating agent (FORREST, 2014).

The time control of the particles in post-processing is an important resource to avoid their agglomeration. The product obtained is effective in replacing virgin rubber with new rubber compounds (FORREST, 2014). As a result, an example is the use of tire powder, which in mixtures with thermoplastics, has a wide use. It can be used both technologically and scientifically, as it is possible to produce new materials with elastic properties (COSSA; SIRQUEIRA; SOARES, 2009).

From the previously described processes for recycling rubber waste, Table 1 presents each technology addressed and a brief analysis of the advantages and disadvantages analyzed for each one of them.

2.2. Composite materials

Composites are materials composed of two or more inputs insoluble to each other that, when mixed, form a new material with different characteristics when compared to the elements alone (ASM INTERNATIONAL, 1990; BLACK; KOHSER, 2019). Generally, composites are created to achieve certain properties and can be classified as natural or synthetic.

The constituent elements of composites are known as phases. In this sense, there is the matrix phase, or binder, whose function is to unite and distribute the loads in the reinforcement phase, which is generally responsible for supporting the forces and, in some cases, transmitting heat and electricity. There is also the interface between reinforcement and matrix, which corresponds to the region of contact between the previous components. It is at the interface that residual stresses occur due to thermal expansion, fractures, or delamination (BLACK; KOHSER, 2019).

Alves et al. (2007) point out that polymeric matrix composites and reinforcement with particles from renewable sources have been of great interest. The authors state that there is great potential for the development of materials and

Process	Technology	Analysis
Thermal	Heat-Induced Fragmentation	Advantages: A process that does not require so much technological apparatus; Requires an autoclave. Disadvantages: Takes too long on a large scale
Thermal with chemical reagents	Chemical reactions at high temperatures	Advantages: Better results compared to thermal only. Disadvantages: Need chemical agents.
Mechanical	Fragmentation	Advantages: No need for chemical agents. Disadvantages: Fragments can be more clustered.
Mechanical with chemical reagents	Fragmentation with chemical agents	Advantages: Better results compared to the mechanic without reagents. Disadvantages: Fragments can be more clustered.
Ultrasonic	Use of ultrasonic energy	Advantages: Faster process and the rubber can be vulcanized again. Disadvantages: Very specific equipment.
Microwave	Heating with microwave energy	Advantages: A possible alternative. Disadvantages: It cannot be any rubber, it depends on the polarity of the compounds.
Microbiological	Microorganisms	Advantages: Biodegradable agent. Disadvantages: It is difficult reaching the inner layers of rubber.
Micronization	Transformation into crumbs	Advantages: The resulting material has a relatively high surface area, suitable for incorporation with other materials. Disadvantages: It takes several steps to reach fragmentation.
Cryogenic	Fragmentation with cooled material	Advantages: They do not cluster as in the mechanical process. Disadvantages: The process is expensive due to the use of cryogenic gas.
By water	Shredding with high-pressure water jets	Advantages: Process water can be recycled, and rubber does not degrade Disadvantages: Uses a natural resource essential to life
Cracker mill	Grinding with a cracker mill	Advantages: Output of a very fragmented material. Disadvantages: Need specific machinery.

Table 01: Waste rubber recycling processes.

Source: Andrezzo (2022, p. 34).

respective products. This can be observed in some works, such as that by Oliveira and D'almeida (2014), in which a composite of resin and tururi fiber (derived from the ubuçu palm) used to manufacture a floor was presented. The authors concluded that the developed material performed well.

Marino et al. (2013) used a resin based on vegetable

polyurethane as a matrix for bamboo particles. The authors concluded that the reuse of waste by combining it with this resin is feasible and presents good results, both in terms of the material's mechanical performance and in environmental and economic terms.

Oliveira and Novaes (2016) presented a polymeric

composite reinforced with malt cereal used to manufacture a guitar body. The authors' evaluations demonstrated that the acoustic behavior of the developed product was excellent.

Rajendran and Nagarajan (2021) studied the effect of adding ash resulting from coal combustion (fly ash), peanut shell powder, jute and banana fibers in a polymeric matrix composite based on castor oil. The authors point out that the proposed materials have better mechanical, flame and weather resistance properties than conventional wood-based building materials.

It is important to point out that composites have been widely used in the reuse of waste from different sources. Silva, Cortat, Orlando and Mulinari (2020) created an expanded composite based on castor oil and tire waste. The authors point out that the addition of rubber particles decreased the resistance to compression, flexion, and water absorption. On the other hand, it increased the impact strength, density and thermal stability of the material compared to pure polymer.

In this sense, studies point to the viability of using waste in the elaboration of polymer matrix composites. The use of a matrix from a renewable or biodegradable source can further favor this aspect, since any material developed will also have a life cycle, eventually being destined for recovery.

3. MATERIAL AND METHODS

For this study, a residue that was already in particulate form was selected, and it was obtained from the cryogenic drumming stage of rubber artifacts generated in the company MicroJuntas Ltda. This choice was made due to its availability for testing without the need for specific grinding equipment.

This residue contains a mixture of several different rubber formulations since several products are subjected to this process and there is no separation. A sample of this residue can be seen in Figure 02.

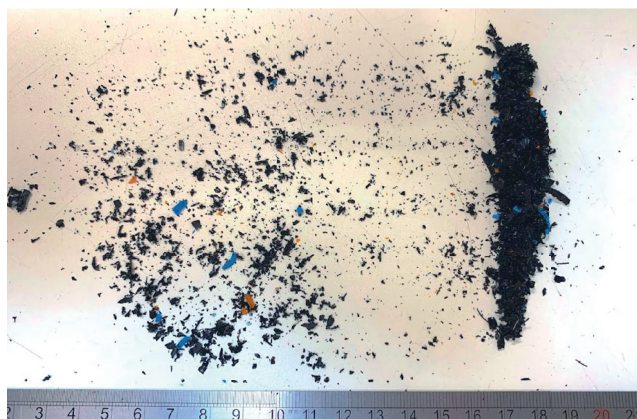


Figure 02: Rubber waste.
Fonte: Andrezzo (2022, p. 42).

Based on reports in the literature, described above, the use of this residue as a reinforcement phase in a polymeric matrix seems to be a valid and promising approach. Also considering sustainability requirements, preference was given to resins from renewable or biodegradable sources. Reports on castor bean-based resin were considered relevant to constitute the composite matrix.

Thus, we opted for resin based on vegetable polyurethane (PUR), Imperveg® AGT 1315 (Figure 03). This PU is a bicomponent, thermoplastic and biodegradable resin based on castor oil. Its preparation is carried out by mixing component A, a prepolymer, and component B, a polyol, to be applied according to the manufacturer, in proportions of 1:1.5. The manufacturer indicates this polymer, among other things, as a matrix in the development of composites (IMPERVEG, 2022).



Figure 03: Resin Imperveg AGT 1315.
Source: adapted from Imperveg (2022).

However, as it was not possible to determine the characteristics of the rubber waste, as it is a mixture, it was necessary to carry out some proportion tests to verify the compatibility between the particles and the resin. Thus, several tests were carried out with different proportions of particles and resin, measured with the aid of a digital scale. Mixing was carried out manually in plastic containers. Table 02 presents the masses of the mixture of components A and B with different masses of rubber waste.

In addition to the different proportions, there was a

Rubber (g)	Comp. A (g)	Comp. B (g)	Total
10	36,0	54,0	100
20	32,0	48,0	100
30	28,0	42,0	100
40	24,0	36,0	100
50	20,0	30,0	100
60	16,0	24,0	100
70	12,0	18,0	100
80	8,0	12,0	100
85	6,0	9,0	100
90	4,0	6,0	100

Table 02: Masses of rubber and resin (A + B).
Source: Adaptado de Andrezzo (2022, p. 47).

preliminary comparison of samples performed with and without the application of pressure. The tests without pressure were carried out in a common plastic mold and allowed to dry at room temperature for 6 hours.

For the pressing tests, an aluminum mold, and clamps (manual pressing) and a hydraulic press were used (Figure 04). As release agents, aerosol silicone, graphite and cellophane with biodegradable detergent were used. The minimum curing time was two hours.

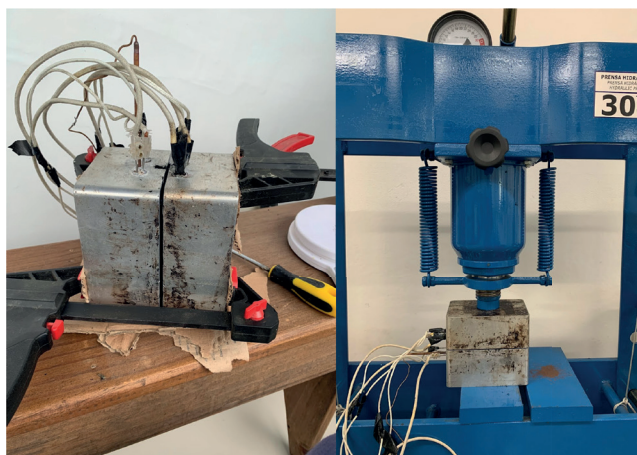


Figure 04: Manual (left) and hydraulic (right) pressing.
Source: Andrezzo (2022, p. 47).

Although mechanical and physical-chemical analyses were carried out, this article only presents preliminary analyses of the material. The relevant aspects at this stage were the appearance, related to the texture, consistency, uniformity, and fragility of the plates. The results of the mechanical and physical-chemical analyses can be consulted in Andrezzo (2022).

4. RESULTS AND DISCUSSION

With the unpressed samples, it was possible to notice that

the models with the highest resin concentration formed a block, solid and with a smooth and shiny layer. Samples with less resin and more rubber were more flexible but more fragile. This behavior is mainly visible at the edges, where some rubber particles end up loosening.

Thus, in samples with percentages above 60% of rubber particles, there was not enough adhesion to keep the board cohesive. In Figure 05 it is possible to visualize the samples with their different percentages of resin and rubber particles up to the limit of 60%.

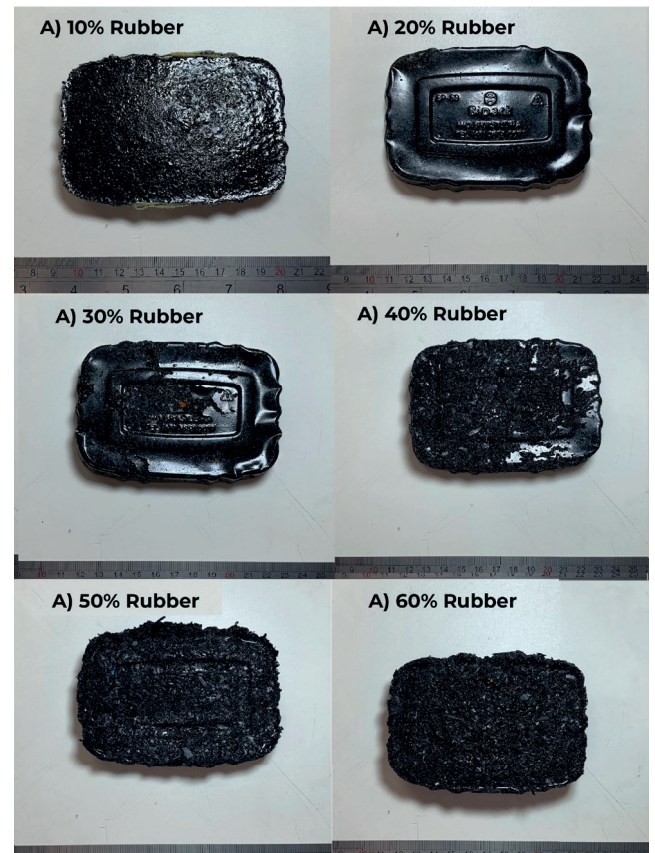


Figure 05: Samples with different percentages without pressure.
Fonte: adapted from Andrezzo (2022, p. 46).

In general, it can be seen from the visual aspect that the increase in the proportion of particles led to a loss of brightness and greater surface roughness. The porosity and flexibility of the sample also increased with increasing particle proportion. However, the fidelity of the shape of the plate to the mold (plastic packaging) decreased.

The samples made with pressing, exhibited a different behavior. Mixtures with higher proportions of resin showed sufficient fluidity to leak at the ends of the matrix, impairing the process. With this, samples with percentages of particles above 60% were made. Figure 06 shows the samples pressed with 60%, 70%, 80% and 90% particulate matter.

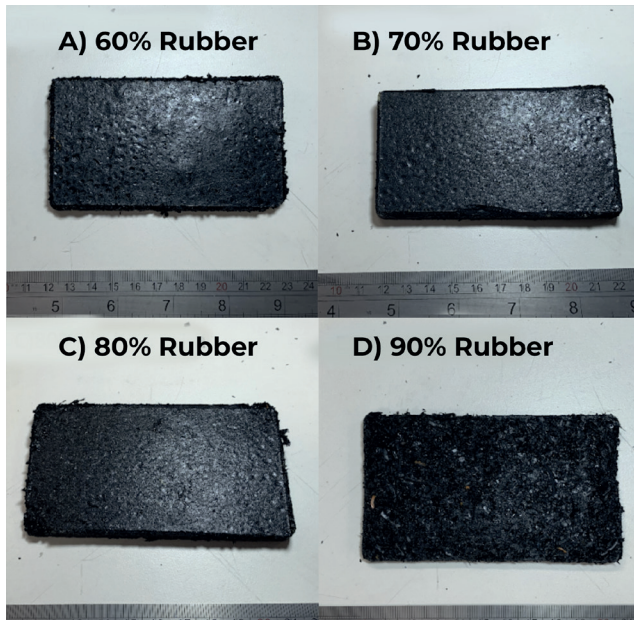


Figure 06: Samples with application of pressure.
Fonte: adapted from Andrezzo (2022, p. 48).

It is understood that applying pressure allowed the resin to flow between the rubber particles and reduced porosity. This resulted in a greater contact area between the particles and better adhesion, even at low resin proportions. As a result, a more solid and uniform material was obtained, even at the ends.

The 60% and 70% samples had very similar behavior, with good flexibility and cohesion. However, in samples above 70%, it was observed that rubber particles came loose at the edges. In this sense, the samples with 70% resin (Figure 07) were the ones that allowed the best use of the residue and resin with a visually solid and compact appearance.

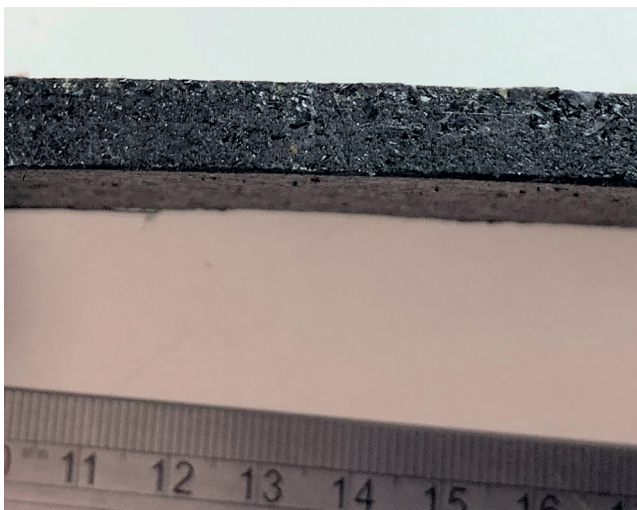


Figure 07: 70% pressed sample.
Source: Andrezzo (2022, p. 50).

It is important to highlight that the samples vary visually according to the composition of the residue. The color is predominantly black but with colored spots depending on which products have gone through the company's process. In this sense, any future developments must consider this feature, exploring it aesthetically. In Figure 8, it is possible to visualize the appearance of some plates produced.



Figure 08: Sample colors.
Source: Andrezzo (2022, p. 50).

The experience of demoulding the samples, especially in the aluminium matrix, was better with cellophane and detergent. In these situations, the demoulding happened without difficulties.

5. CONCLUSIONS

This work presents an initiative to reuse rubber waste from a local company. Components manufactured for other industries (gaskets, sealing rings, retainers, hoods, etc.) generate a volume of rubber waste of around 40 tons/month. Although the company sends this waste to an adequate destination according to the legislation, it indicates the demand for reuse in a situation that is less harmful to the environment.

In this sense, structuring the research according to Design Science Research (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015) was essential to provide the scientific basis and structure the research development. This proved to be essential for balancing technical-scientific and practical aspects.

The literature review allowed recognition of the potential of composites in the reuse of different types of materials, both of vegetable and mineral origin. Research on resins has identified that castor bean-based polyurethane resin is very promising for this application since it is of vegetable origin, non-toxic and biodegradable. In this sense, it causes a relatively smaller environmental impact than synthetic resins derived from petroleum.

The development of the material took place in an empirical stage, in which there was the possibility of observing and analyzing the behavior of the different proportions between the particulate material and the resin. It was also possible to analyze aspects of the forming process, by comparing the preparation of samples with or without pressure application.

In general, the proportion of 70% residue with 30% resin provided the best results. This is valid both for the use of residues and resin. The sample exhibited a good combination of strength and flexibility, bringing together two interesting features for product design.

Likewise, it also exhibited adequate texture as well as consistency and uniformity associated with good adhesion between particles. The nature of the waste also conveys a visual aspect that can be explored, since it is predominantly black, but has inclusions of particles of other colors, causing interesting contrasts.

For future developments, the use of this material seems to be suitable for forming processes associated with the application of pressure. Likewise, the possibility of using cellophane and detergent (biodegradable) as release agents is indicated, reducing the need to use industrial chemicals (e.g., silicone products).

It is important to point out that this article presents only an extract of a conclusion work in the professional master's degree in design at the University of Joinville Region – Univille/SC. Mechanical and physicochemical analyses are available in the complete work, as well as must be published separately.

In any case, it is expected that the reports of experiences, limitations and characteristics of the material developed will be useful for future studies of a similar nature. It is also necessary to carry out financial and market analyses, not covered in this study. In addition, the life cycle of the product with the developed compound must be analyzed, since more sustainable uses are sought throughout the value chain.

REFERENCES

ALVES, W. F.; ITO, E. D.; MALMONGE, J. A.; MAGALHÃES, W.L.E.; MATTOSO, L. H. C. Caracterização do compósito de poliuretano derivado do óleo de mamona (pur) com sílica obtida da planta "cavalinha". **Anais do 9º. Congresso Brasileiro de Polímeros**, Campina Grande/PB, 2007.

ANDREZZO, C. **Contribuição do design de produtos**

no aproveitamento de resíduos industriais de artefatos de borracha. 2022. 79 f. Relatório Técnico (Mestrado) - Curso de Mestrado Profissional em Design, Universidade da Região de Joinville, Joinville, 2022.

ANDRIETTA, A. J. **Pneus e meio ambiente: um grande problema requer uma grande solução**. 2002. Disponível em: Acesso em: <<https://pt.scribd.com/doc/15706935/Pneus-e-Meio-Ambiente>> 08 jul. 2021.

ASM INTERNATIONAL. **ASM Handbook Volume 21: Composites**. 1990.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D638-10: Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics**. 2014.

BLACK, J. T.; KOHSER, R. A. **DeGarmo's Materials and Processes in Manufacturing**. Hoboken: John Wiley & Sons, 13rd. ed., 2019.

COSSA, M; SIRQUEIRA, A. S; SOARES, B. G. Desenvolvimento de elastômeros termoplásticos vulcanizados (TPV) a base de polipropileno com resíduo de pneu: I - Planejamento fatorial de experimentos. **Polímeros**, São Carlos, v. 19, n. 3, p. 190-195, 2009.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. **Design Science Research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, 2015.

FORREST, M. **Recycling and Re-use of Waste Rubber**. Shropshire: Smithers Rapra, 2014.

GONZALEZ, W. O.; SANTANA, R. M. C. **Tecnologias de reciclagem de resíduos de borracha**. 2012, Bento Gonçalves – RS, Brasil.

HOLKA, H; JARZYNA, T. Recycling of car tires by means of Waterjet technologies. **Scientific Session of Applied Mechanics IX: AIP Publishing**. Proceedings... Bydgoszcz

IMPERVEG. **Ficha técnica IMPERVEG® AGT 1315**. 2022. Disponível em: <https://imperveg.com.br/ficha/FICHA%20T%c3%89CNICA%20AGT%201315.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2021.

KULA, D.; TERNAUX, É. **Materiologia: o guia criativo de materiais e tecnologias**. Tradução Alyne Azuma Rosenberg. - São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2012. 75

LAGARINHOS, C. A. F.; TENÓRIO, J. A. S. Tecnologias utilizadas para a reutilização, reciclagem e valorização energética de pneus no Brasil. **Polímeros [online]**. 2008, v. 18, n. 2, p. 106-118.

LESKO, Jim. Design industrial: guia de materiais e fabricação. Brasil, Blucher, 2012.

MAGALHÃES, L. G. A. **Desvulcanização de resíduos de borracha e sua incorporação em componentes de calçado**. 2015. 73 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia Metalúrgica e Materiais, Feup, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2015.

MARINHO, N. P.; NASCIMENTO, E. M.; NISGOSKI, S.; MAGALHÃES, W. L. E.; NETO, S. C.; AZEVEDO, E. C. Caracterização física e térmica de compósito de poliuretano derivado de óleo de mamona associado com partículas de bambu. **Polímeros**, v. 23, n. 2, p. 201-205, 2013.

MARKL, E.; LACKNER, M. Devulcanization technologies for recycling of tire-derived rubber: A Review. **Materials**, 2020, 13, p. 1246.

OLIVEIRA, A. K. F.; D'ALMEIDA, J. R. M. Ecopiso de fibra de tururi e resina de mamona: Ensaio de Resistência à Abrasão e Análise da Morfologia Utilizando MEV. **Revista D.: Design, Educação, Sociedade e Sustentabilidade**. Porto Alegre, v. 6, n. 2, p. 91-109, 2014.

OLIVEIRA, A. K. F. de; NOVAES, R. Guitarra de compósito polimérico vegetal: Um estudo sobre novos materiais no design de produtos. **Revista D.: Design, Educação, Sociedade e Sustentabilidade**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 125-141, 2016.

PAULO, G. D.; SARON, C. **Reciclagem De Elastômeros Por Desvulcanização Química E Física Combinadas**. Escola de Engenharia de Lorena, Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

SILVA, N. G. S.; CORTAT, L. I. C. O.; ORLANDO, D.;

MULINARI, D. R. Evaluation of rubber powder waste as reinforcement of the polyurethane derived from castor oil. **Waste Management**, v. 116, p. 131-139, 2020.

THOMPSON, R. **Materiais sustentáveis, processos e produção**. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2015.

ACKNOWLEDGMENTS

The research team would like to thank Microjuntas Ind. Com. Ltda – Joinville/SC for their support in carrying out this work.

AUTORES

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4096-9812>

CLARA ANDREZZO, Ma, | Universidade da Região de Joinville - Univille | PPG Design | Joinville, SC - Brasil | Correspondência para: Rua Conselheiro Mafra, 125 - Centro, Joinville - SC, 89201-480 | email: clarinhandrezzo@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9404-0617>

DANILO CORRÊA SILVA, Dr. | Universidade da Região de Joinville - Univille | PPG Design | Joinville, SC - Brasil | Correspondência para: Rua Paulo Malschitzki, 10 - Zona Industrial Norte, Joinville - SC, 89219-710 | E-mail: danilo.correa@univille.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5613-6247>

NOELI SELLIN, Dr. | Universidade da Região de Joinville - Univille | PPG Design | Joinville, SC - Brasil | Correspondência para: Rua Paulo Malschitzki, 10 - Zona Industrial Norte, Joinville - SC, 89219-710 | E-mail: noeli.sellin@univille.br

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-8779-530X>

ANDRESA DE OLIVEIRA - Bacharel - Univille - Química Industrial - Joinville - SC - Brasil - rua Walmor harguer, 593 - Costa e Silva, Joinville - SC 89220-650 | andresajunior@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7396-6277>

ANNA LUIZA MORAES DE SÁ CAVALCANTI, Dra | Universidade da Região de Joinville - Univille | PPG Design | Joinville, SC - Brasil | Correspondência para: Rua Paulo Malschitzki, 10 - Zona Industrial Norte, Joinville - SC, 89219-710 | E-mail: anna.cavalcanti08@gmail.com

COMO CITAR ESTE ARTIGO

ANDREZZO, Clara; SILVA, Danilo Corrêa; SELLIN, Noeli; OLIVEIRA, Andresa de; CAVALCANTI, Anna Luíza Moraes de Sá. MIX Sustentável, v. 9, n. 5, p. 79-90, 2023.

ISSN 2447-3073. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: _/_/_.
doi: <<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n5.79-90>>.

SUBMETIDO EM: 18/03/2023

ACEITO EM: 19/06/2023

PUBLICADO EM: 31/10/2023

EDITORES RESPONSÁVEIS: Lisiane Ilha Librelotto e Paulo Cesar Machado Ferroli.

Registro da contribuição de autoria:

Taxonomia CRediT (<http://credit.niso.org/>)

CA: conceptualization; data curation; formal analysis; funding acquisition; investigation; methodology; project administration; validation; visualization; writing – original draft.

DCS: conceptualization; formal analysis; funding acquisition; investigation; methodology; project administration; supervision; validation; visualization; writing – original draft; writing – review & editing.

NS: conceptualization; data curation; formal analysis; investigation; methodology; supervision; validation; writing – review & editing.

ALMSC: project administration; writing – review & editing.

AO: funding acquisition; investigation; resources; validation.

Declaração de conflito: nada foi declarado.

ANÁLISE DE BOAS PRÁTICAS VOLTADAS À REDUÇÃO, REUTILIZAÇÃO E RECICLAGEM DE RESÍDUOS NOS CANTEIROS DE OBRAS DE EDIFÍCIOS

ANALYSIS OF GOOD PRACTICES FOCUSED ON THE REDUCTION, REUSE AND RECYCLING OF WASTE AT BUILDING CONSTRUCTION SITE

ANÁLISIS DE BUENAS PRÁCTICAS HACIA LA REDUCCIÓN, REUTILIZACIÓN Y RECICLAJE DE RESIDUOS EN LAS OBRAS DE EDIFICACIÓN

MARIA EZIR RODRIGUES DE QUEIROZ | UPE - Universidade de Pernambuco, Brasil

JAQUELINE MATA DE OLIVEIRA, Me. | UPE - Universidade de Pernambuco, Brasil

ALBERTO CASADO LORDSLEEM JÚNIOR, Dr. | UPE - Universidade de Pernambuco, Brasil

DÉBORA DE GOIS SANTOS, Dra. | UFS - Universidade Federal de Sergipe, Brasil

RESUMO

Os resíduos da construção civil (RCC) provocam grandes impactos ambientais quando não gerenciados de forma adequada. É uma situação que exige a aplicação de práticas que visem reduzir, reutilizar e reciclar (3R's) os resíduos gerados pela construção civil. Este trabalho tem como objetivo apresentar análises de boas práticas na redução, reutilização e reciclagem dos RCC em canteiros de obras. A metodologia consistiu em uma revisão sistemática considerando as indicações do Método PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses). Além disso, foi realizada uma pesquisa de campo em cinco obras localizadas na cidade do Recife e duas obras situadas na cidade de Caruaru, ambas no Estado de Pernambuco, onde foram verificadas as ações de redução, reutilização e reciclagem realizadas nos respectivos canteiros de obras. Como resultados mais evidentes, foram identificadas as ações de redução aplicadas aos materiais utilizados na execução de obras e boas práticas de reutilização e reciclagem para os principais materiais de construção, como: concreto e madeira. A principal colaboração deste trabalho consistiu em identificar e analisar as boas práticas que possibilitem uma melhor gestão dos resíduos da construção civil no que diz respeito aos 3R's em canteiros de obras.

PALAVRAS-CHAVE

Resíduos; redução; reutilização; reciclagem; construção civil.

ABSTRACT

Civil construction waste (RCC) causes major environmental impacts when not properly managed. It is a situation that requires the application of practices that aim to reduce, reuse and recycle (3R's) the waste generated by civil construction. This work aims to present analyzes of good practices in the reduction, reuse and recycling of RCC at construction sites. The methodology consisted of a systematic review considering the indications of the PRISMA Method (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses). In addition, a field survey was carried out in five works located in the city of Recife and two works located in the city of Caruaru, both in the State of Pernambuco, where the reduction, reuse and recycling actions carried out in the respective construction sites were verified. As more evident results, the reduction actions applied to the materials used in the execution of works and good reuse and recycling practices for the main construction materials, such as: concrete and wood, were identified. The main collaboration of



this work consisted in identifying and analyzing the good practices that allow a better management of civil construction waste with regard to the 3R's at construction sites.

KEYWORDS

Waste; reduction; reuse; recycling; civil construction.

RESUMEN

Los residuos de la construcción (RCC) causan importantes impactos ambientales cuando no se gestionan adecuadamente. Esta situación exige la aplicación de prácticas encaminadas a reducir, reutilizar y reciclar (3R) los residuos generados por la construcción. El objetivo de este trabajo es presentar análisis de buenas prácticas en la reducción, reutilización y reciclaje de RCC en obras de construcción. La metodología consistió en una revisión sistemática teniendo en cuenta las indicaciones del método PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Además, se realizó una investigación de campo en cinco obras localizadas en la ciudad de Recife y dos obras localizadas en la ciudad de Caruaru, ambas en el estado de Pernambuco, donde se verificaron las acciones de reducción, reutilización y reciclaje llevadas a cabo en las respectivas obras. Los resultados más evidentes fueron las acciones de reducción aplicadas a los materiales utilizados en las obras y las buenas prácticas de reutilización y reciclaje de los principales materiales de construcción, como el hormigón y la madera. La principal contribución de este trabajo fue identificar y analizar las buenas prácticas que permiten una mejor gestión de los residuos de la construcción en términos de las 3R en las obras de construcción.

PALABRAS CLAVE

Residuos; reducción; reutilización; reciclaje; construcción civil.

1. INTRODUÇÃO

Apesar de ser economicamente fundamental para o país, a indústria da construção civil é responsável pela utilização de até 50% do total de recursos naturais consumidos pela sociedade e pela geração de até 70% dos resíduos sólidos urbanos (SILVA et al., 2015; DUARTE et al., 2019).

Com relação aos resíduos produzidos pela construção civil, a Abrelpe (2021) relatou, em sua pesquisa setorial de 2020, que foram coletados pelos municípios cerca de 47 milhões de RCC, o que representa um aumento de 5,5% e uma quantidade de 221,2 kg por habitante/ano. Segundo a Abrecon (2020) 70% desses resíduos poderiam ser reutilizados no processo construtivo em obras, mas que o país recicla apenas 16% do total gerado, pois mais da metade dos RCC são descartados de forma clandestina e irregular no Brasil. Visto isso, as práticas de redução, reutilização e reciclagem (3R's), aplicadas por empresas construtoras, são alternativas eficazes para gestão ambientalmente adequada dos resíduos da construção civil (RCC), sem desconsiderar a necessidade de descartar adequadamente os resíduos, recusar e repensar processos, é importante desenvolver uma sistematização e análise para uma gestão ambiental eficaz (VILLORIA et al., 2014).

Sendo assim, este artigo tem como objetivo apresentar as boas práticas na redução, reutilização e reciclagem dos RCC em canteiros de obras.

Ademais, a geração de resíduos da construção civil no Brasil é regulamentada pela Resolução nº 307/2002 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), a qual classifica os resíduos em 4 classes (A, B, C e D) estabelecendo o objetivo das práticas de redução, reutilização e reciclagem. Ainda segundo essa legislação (primeira no Brasil que se dedica à problemática), prioritariamente as empresas construtoras devem ter como objetivo a não geração de resíduos e, em seguida, a redução, reutilização, reciclagem, tratamento e

disposição final ambientalmente desses.

De acordo com Dondo (2017), defende o princípio dos 3R's (reduzir, reutilizar e reciclar), (Figura 01) como primordiais para a gestão sustentável, em que o autor defende que correlacionar estas ações de forma integrada constitui a estrutura ambientalmente saudável do manejo dos resíduos e que a adoção de medidas de controle, monitoramento e a fiscalização fazem parte de atividades afins da gestão dos resíduos sólidos, destacando a necessidade de minimizar os impactos ambientais através da aplicação destes princípios.

Brasileiro e Matos (2015) destacam ainda a importância da não geração do resíduo, ou seja, a redução da geração do resíduo na fonte. Na sequência, uma vez que o resíduo foi gerado sua reutilização deve ser considerada, assim como a possibilidade de reciclagem (ARSHAD, 2018; SILVA; PERTEL, 2019). Neste contexto, as ferramentas de gerenciamento de resíduos têm despertado interesse das construtoras, meio técnico e meio acadêmico, visto que a adoção de práticas de gerenciamento baseadas em conceitos coerentes com o conceito de sustentabilidade é essencial para a redução do impacto ambiental causado pelo setor (ALBUQUERQUE; SANTANA; CASTRO, 2018; DUARTE et al., 2019).

2. METODOLOGIA

A pesquisa exploratória objetiva proporcionar maior familiaridade com o problema tornando-o mais explícito e viabilizando a construção de hipóteses, como também aprimorar ideias e descobrir instituições. Esta classificação de pesquisa envolve levantamento bibliográfico, entrevistas com pessoas que possuem experiências práticas com o tema e a análise de exemplos que permitam uma melhor compreensão (GIL, 2017). A pesquisa deste trabalho é do tipo exploratória e o procedimento metodológico utilizado consistiu nas etapas que estão apresentadas no Quadro 01.

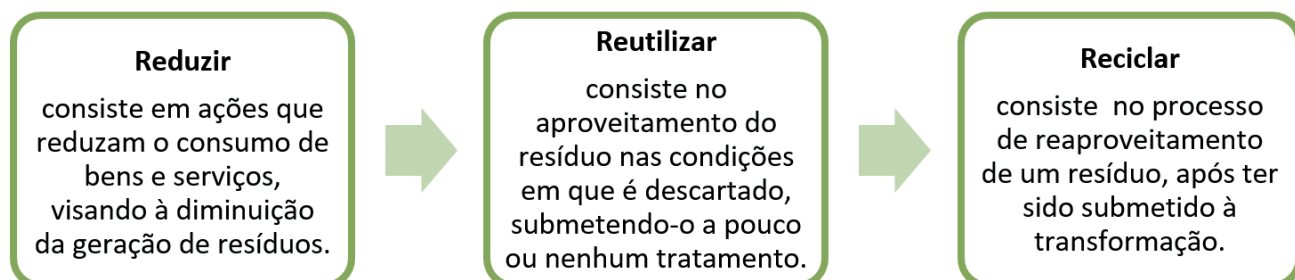


Figura 01: Definição dos 3R's na construção de edifícios.
Fonte: Adaptado de Dondo (2017).

Etapas	Características
Etapa 1	Realização da revisão bibliográfica sobre o tema, utilizando o método de revisão sistemática Prisma através do Portal de Periódicos da CAPES e do Google Scholar, pesquisando as principais medidas de redução, reutilização e reciclagem de resíduos na construção de edifícios.
Etapa 2	Realização da seleção das obras, que foram escolhidas a partir do banco de dados da pesquisa de Lins (2020), seu estudo analisou informações de obras do banco de dados de resíduos do Recife, consultadas nos processos físicos da EMLURB (Autarquia de Manutenção e Limpeza Urbana do Recife), no período de 2018 a 2020. Os indicadores foram selecionados de acordo com os seguintes critérios: os resíduos gerados na etapa de construção, o uso da edificação como residencial e a tipologia de edificação como conjunto de apartamentos. Em seguida, foi elaborado um ranking com as empresas construtoras que possuíam os indicadores de geração de resíduos com valores mais baixos e 5 dessas foram alvo da pesquisa de campo (Obras A, B1, B2, C e F). E com o objetivo de obter potenciais ações voltadas a aplicação dos 3R's na construção de edifícios, buscaram-se obras certificadas; desta forma, 2 empresas disponibilizaram 2 obras para estudo na cidade de Caruaru no interior de Pernambuco (Obras D e E).
Etapa 3	Elaboração do checklist com as informações necessárias para ser aplicado na pesquisa de campo, este foi desenvolvido através da revisão bibliográfica e aperfeiçoado através da pesquisa de campo na obra A, onde foram coletados os seguintes itens: dados das empresas construtoras (cadastro, ano de fundação, porte), dos respondentes (cadastro, formação, setor), das obras (cadastro, ano de início e término, tipologia, número de pavimentos, área construída, quantidade de resíduos/m ² , estudo prévio de resíduos), etapas do Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil – PGRCC (dados da caracterização, segregação, acondicionamento, transporte e destinação dos RCC), controle de produção de materiais e de serviços nos canteiros de obras e aplicação dos 3R's (redução, reutilização e reciclagem) nos canteiros de obras.
Etapa 4	Realização do estudo de caso nas sete obras selecionadas e aplicação do checklist, entre os meses de abril e junho de 2021. O checklist buscou focar na investigação de práticas de redução, reutilização e reciclagem que foram re-realizadas nos canteiros. Além disso, foram capturadas fotos para complementar o estudo de caso.

Quadro 01: Etapas da metodologia utilizada.

Fonte: Autores.

Com a aplicação do Método Prisma, apresentado como a Etapa 1 no Quadro 01, foram obtidos resultados importantes com relação às ações de redução, reutilização e reciclagem que devem ser frisados. Os resultados da seleção das bibliografias nas bases de dados foram obtidos por meio de buscas a partir de palavras-chave relevantes sobre o tema e, em seguida, foram aplicados critérios de triagem e elegibilidade, conforme apresentados na Figura 02.

As palavras-chave utilizadas para a busca em português foram: “gerenciamento dos resíduos”, “construção civil”, “redução de resíduos”, “reutilização de resíduos”, “reciclagem de resíduos”, “sistemas de gestão

ambiental”, “sistemas construtivos inovadores”, “construção racionalizada”, “logística reversa”; e em inglês foram: “waste management”, “civil construction”, “waste reduction”, “waste reuse”, “waste recycling”, “environmental management systems”, “innovative construction systems”, “rationalized construction”, “reverse logistics”.

Portanto, após realizar a pesquisa no Portal de Periódicos da CAPES e fazer a aplicação dos critérios, conforme apresentado na Figura 2, o resultado total da pesquisa bibliográfica utilizando o Método PRISMA correspondeu a 21 bibliografias para análise completa, das quais foram acrescidos 10 trabalhos do Scholar Google. A partir da verificação e estudo dos artigos, foi

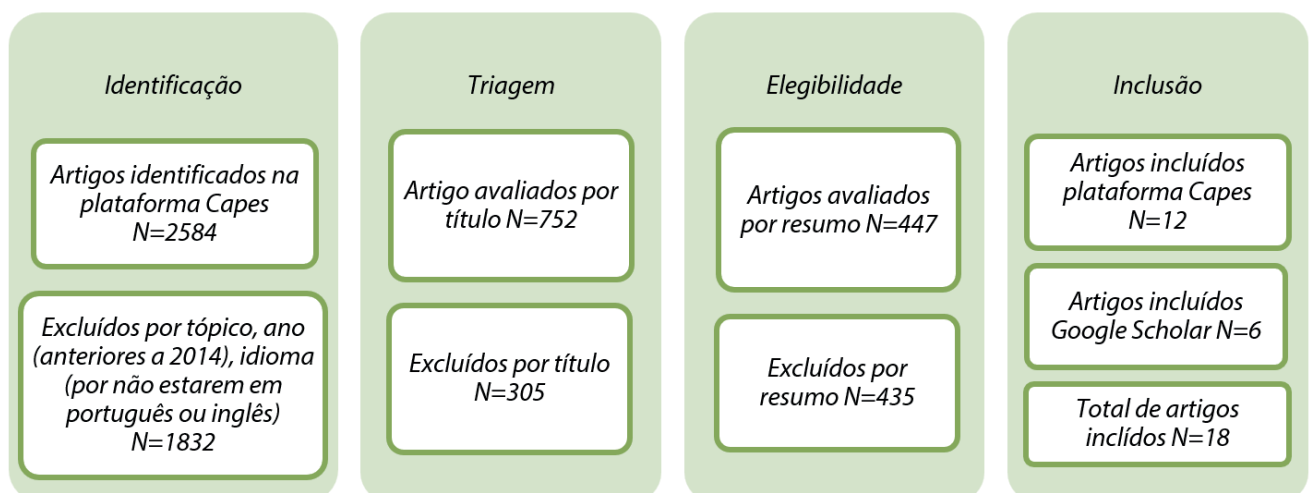


Figura 02: Fluxograma da seleção de artigo.

Fonte: Autores.

possível coletar um conjunto de ações relacionadas aos 3R's, as quais contribuem para a análise de boas práticas nos canteiros de obras.

3. RESULTADOS OBTIDOS

A realização dos estudos de casos proporcionou o conhecimento de outras práticas relacionadas aos 3R's. A coleta das informações foi realizada a partir da aplicação do checklist nas obras e as imagens foram capturas durante as visitas aos canteiros. O Quadro 02 apresentada as características das obras estudadas.

Obras	Dados das obras	Local
A	Edifício Residencial de 20 pavimentos com 7.630,85 m ² de área total construída. Possuía as certificações de qualidade ISO 9001 e Certificação ambiental ISO 14001.	RECIFE
B1	Edifício Residencial de 35 pavimentos com 13.178,49m ² de área total construída. Possuía as certificações de qualidade ISO 9001 e PBQP-H (Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat).	RECIFE
B2	Edifício Residencial de 23 pavimentos com 7881,18m ² de área total construída. Possuía as certificações de qualidade ISO 9001 e PBQP-H.	RECIFE
C	Edifício Residencial de 14 pavimentos com 3066,8m ² de área total construída. Possuía as certificações de qualidade ISO 9001 e PBQP-H.	RECIFE
D	Condomínio residencial de casas, composto por 2.469 casas com 114.314,07m ² de área total construída. Possuía as certificações de qualidade ISO 9001 e PBQP-H.	CARUARU
E	Edifício Residencial de 17 pavimentos com 699,20m ² de área total construída. Possuía certificação de qualidade ISO 9001 e a certificação ambiental Selo Casa Azul + Caixa com classificação Ouro.	CARUARU
F	Edifício Residencial de 13 pavimentos com 3380,52 m ² de área total construída. Possuía certificação de qualidade ISO 9001.	RECIFE

Quadro 02: Características das obras estudadas.

Fonte: Autores.

3.1. Ações de redução, reutilização e reciclagem nas obras estudadas

As atividades realizadas nos canteiros de obras que proporcionaram a redução de resíduos foram as seguintes: o cuidado com o fluxo e estocagem de materiais; o uso de equipamentos de transporte correto para os resíduos e os materiais; o cuidado na escolha dos materiais para a execução das obras, com a opção de materiais que proporcionaram baixa geração de resíduos; a escolha por sistemas construtivos racionalizados e/ou inovadores na execução

das obras; a aplicação de medidas de gerenciamentos de resíduos como: a utilização da educação ambiental ministradas nos canteiros de obras para as equipes de produção, a aplicação da logística reversa dos materiais e uso da demolição seletiva.

No que diz respeito às ações de reutilização, foram identificadas boas práticas para os materiais encontrados na execução das obras estudadas, como solos, agregados, argilas, concreto, madeira, metais, placas cerâmicas, plástico, louças e metais sanitários, gesso, capa vegetal e árvores nativas.

Por sua vez, as ações de reciclagem contemplaram as boas práticas para os materiais encontrados nas obras estudadas, como: madeira, placas cerâmicas, plástico, papelão, papel, vidro, louças sanitárias, gesso, metais e agregados.

3.2. Análise das principais ações realizadas

Acerca das práticas de redução de resíduos, o cuidado na seleção dos materiais foi realizado em todas as obras estudadas, tais materiais foram:

- Aço cortado e dobrado em 5 (cinco) das 7 (sete) obras analisadas. Figura 03.
- Aço, cortado, dobrado e montado nas outras 2 (duas) obras.

Ambos com o objetivo de evitar sobras de aço nos canteiros de obras.



Quadro 02: Características das obras estudadas.

Fonte: Autores.

- Argamassa industrializada (pronta para mistura) em 5 (cinco) das 7 (sete) obras;
- Argamassa estabilizada (pronta para uso) em duas

obras, a qual que pode chegar a 24hs, de acordo com as obras estudadas (Figura 04).

Foram utilizadas essas alternativas que proporcionaram um tempo de aplicação mais estendido (AKBUULUT; GURER, 2007; BRAGANÇA et al., 2015) para reduzir os resíduos de argamassa.



Figura 04: Argamassa estabilizada.
Fonte: Autores.

Quanto às ações de reutilização, os resíduos de solos, argilas, agregados, madeira e metais foram reutilizados em todas as obras estudadas, principalmente das seguintes maneiras:

- Execução de reaterros dentro do próprio canteiro por meio da reutilização de resíduos de solo, concreto, areia e argila (Figura 05).
- Confecção de caixas de passagem para instalações hidráulicas e elétricas nas formas de concretagem utilizando resíduos de madeira. Figura 06.

No que se refere às atividades de reciclagem, apenas uma das obras estudadas implementava essas ações no próprio canteiro. Nela era feita a reciclagem de parte dos resíduos de classe A, como tijolos, telhas, areias e concreto.



Figura 05: Reaterro utilizando resíduos de solos, concreto e areias.
Fonte: Autores.



Figura 06: Passagens pré-definidas durante a etapa de concretagem utilizando caixas de resíduos de madeira.
Fonte: Autores.

Este processo seguia as seguintes etapas:

- Separação dos resíduos de classe A em caçambas estacionárias, como mostra a Figura 07;
- Realização de triagem para separação dos resíduos;
- Trituração dos mesmos por britadores de rocha, transformando-os em agregados;
- Reutilização desses agregados, posteriormente, em aterros e nivelamentos de passagens e ruas no canteiro.



Figura 07: Caçamba estacionária com resíduos classe A destinados à triagem.
Fonte: Autores.

Os resíduos desta obra que não poderiam ser reciclados no canteiro, como também os resíduos das outras 6 (seis) obras analisadas, ficavam armazenados separadamente, como apresentado nas Figuras 08 e 09. Em seguida, tornavam-se responsabilidade de empresas selecionadas para destinação final em aterros de RCC.



Figura 08: Baixas fixas para resíduos de madeiras, químicos, plástico, papelão e resíduos contaminados.

Fonte: Autores.



Figura 09: Baia fixa para resíduos de madeira, papel contaminado e betume.

Fonte: Autores.

4. CONCLUSÃO

Em suma, de acordo com as análises realizadas da revisão bibliográfica e dos estudos de caso apresentados neste trabalho, as boas práticas de redução, reutilização e reciclagem dos RCC nos canteiros de obras, contribuíram para o tratamento ambientalmente adequado destes resíduos.

As principais ações realizadas nos canteiros de obras investigados, que colaboraram para a aplicação dos 3R's nos resíduos da construção civil, foram as seguintes: o cuidado na seleção dos materiais, como aço cortado e dobrado, e argamassa industrializada; reutilização de resíduos de solo, concreto e areia para execução de reaterros no canteiro; reutilização de resíduos de madeira para confecção de caixas de passagem para instalações diversas

durante a concretagem; reciclagem de resíduos de classe A por meio da trituração para formação de agregados e reutilização dos mesmos como materiais de aterros e nivelamento no canteiro de obras.

As obras que possuíam canteiros bem arranjados e limpos foram as mesmas que priorizaram as práticas de redução dos RCC, também com o objetivo de diminuir o consumo de materiais durante a construção. Já as ações de reutilização e reciclagem dos resíduos permitiram o aproveitamento de materiais no canteiro de obras, evitando que sejam todos destinados a aterros.

A análise de ações voltadas à redução, reutilização e reciclagem apresentada neste trabalho, por meio da revisão de bibliografias e pesquisas de campo, contribui para a elaboração de propostas sobre as boas práticas para a aplicação dos 3R's na construção civil. Visando a melhoria dos canteiros de obras de edifícios com relação à gestão de RCC, estas ações podem ser replicáveis por outras empresas construtoras.

REFERÊNCIAS

AKBULUT, H.; GÜRER, C. (2007). Use of aggregates produced from marble quarry waste in asphalt pavements. **Building and Environment**, 42, 5(2007). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.03.012>

ARSHAD, H. et al. Quantification of Material Wastage in Construction Industry of Pakistan: An Analytical Relationship between Building Types and Waste Generation. **Journal of Construction in Developing Countries**, v. 22, n. 2, p. 19–34, 2018.

AMORIM, M. D. P. **Proposta de Modelo de Transferência de Carga de Fundação Superficial em Terreno Melhorado com Estacas de Compactação**, 2019. 169f. Dissertação (Mestrado em engenharia civil), Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil, pp. 34-58, 2019.

ALBUQUERQUE, T. L.; SANTANA, C.G. Desperdício de material no canteiro de obras de médio porte em São Luís-MA na atualidade. **Revista CEDS (Centro de estudos em desenvolvimento sustentável)**, n. 9, agost. /dez. 2018.

Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON). **Encontro Nacional das Usinas de Reciclagem de**

RCD apresenta dados inéditos sobre a reciclagem de entulho no Brasil - Pesquisa setorial 2020. Disponível em: <https://abrecon.org.br/encontro-nacional-das-usinas-de-reciclagem-de-rcd-apresenta-dados-ineditos-sobre-a-reciclagem-de-entulho-no-brasil/>. Acesso em: 7 abr. 2022.

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE). **Panorama dos Resíduos sólidos no Brasil – 2021**. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama-2021/>. Acesso em: 25 junho. 2022.

Associação Brasileira de Drywall (ABD). (2022) **Tudo o que você precisa saber sobre drywall**. São Paulo, 2018. Disponível em: <https://drywall.org.br/blogdrywall/tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-drywall/>. Acesso em: 25 junho.

BARROS, M. M. S. B. **“Metodologia para implantação de tecnologias construtivas racionalizadas na produção de edifícios.”**1996.454p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, USP, 1996.

BERTOL, M. **Estudo dos Impactos da Reutilização de Resíduos da Construção Civil**. 2015. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, RS, Brasil.

BEZERRA, L. F. M. H. **Revestimentos externos em edificações: uma abordagem comparativa entre fachadas utilizando-se pastilhas cerâmicas e fachadas ventiladas sob a ótica do custo**. 2018. 96 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade do Sul de Santa Catarina.

BRAGANÇA, M. O. G. P; PORTELLA K. F.; TREVISOL JR., L. A. Estudo comparativo entre as argamassas: estabilizada, dosada em central, industrializada e produzida em obra por meio de ensaios físicos nos estados fresco e endurecido. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 11, Porto Alegre. **Anais Eletrônicos...** Porto Alegre: ANTAC, 2015. Disponível em: < <http://www.gtargamassas.org.br/eventos/file/482>>. Acesso em: 04 abr. 2021.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na

indústria da construção civil. **Cerâmica** 61, Teresina, v. 61, n. 358, p. 178–189, 2015. <https://doi.org/10.1590/036669132015613581860>

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução n. 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece Diretrizes, Critérios e Procedimentos para a Gestão dos Resíduos de Construção Civil. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 17 jul. 2002. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>. Acesso em: 03 set. 2020.

CARNEIRO, M. O.; RABANNI, E. R. K. Proposta de estrutura e diretrizes sustentáveis para projetos de construção aplicáveis em construtoras de pequeno porte. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v.10, n.2, p.117-131, 2018.

CASTRO, A. A. Avaliação do ciclo de vida dos materiais como ferramenta para a gestão dos resíduos na indústria da construção civil. **Revista educação ambiental em ação**, n.65, 2018.

DAYCHOUM, M. **40 ferramentas e técnicas de gerenciamento**. Rio de Janeiro: Brasport, 2007.

DONDO, M. V. M. Avaliação da gestão de resíduos da construção civil em Cuiabá e Várzea Grande. **Revista DAE**, 2017. DOI:10.4322/dae.2016.035

DUARTE, S. T. F.; MACHADO, B. A.; PASCHOALIN FILHO, J. A. Inovação tecnológica no gerenciamento de resíduos de construção civil (RCC) na cidade de Guarulhos: estudo de caso usina de reciclagem de entulho. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, São Paulo, v 07, n. 53, 2019. <https://doi.org/10.17271/2318847275320192174>

FREITAS, A. N.; JESUS, B. S.; COSTA, J. F.; SANTOS, T. S. **Sistemas de Fôrma para Estruturas de Concreto Armado: Estudo de Caso com Utilização de Fôrma Metálica Perdida**. 2015. 49f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Faculdade Capixaba da Serra, Serra.

GANGOLELLS, M.; CASALS, M.; FORCADA, M.; MACARULLA, M. Analysis of the implementation of effective waste management practices in construction projects and sites. **Resources, conservation and recycling**, v. 93, p. 99-111, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.10.006>

GEHBAUER, F. **Racionalização na construção civil**. Recife: Projeto COMPETIR (SENAI, SEBRAE, GTZ), 2004.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6 ed. Atlas. São Paulo, 2017.

HOUSSEINI, M. R.; RAMEEZDEEN, R.; CHILESHE, N.; LEHMANN, S. Reverse logistics in the construction industry. **Waste Management & Research**, 33 (6), P. 499-514, 2015.

LAFAYETTE, K. P. V.; PAZ, D. H. F.; HOLANDA, M. J. O.; COSTA, L. A. R. R. Analysis of generation and characterization of construction and demolition waste on construction sites in the city of Recife, Brazil. **Revista Matéria**, v. 23, n. 3, 2018.

LEITE, I. C. A. et al. Gestão de resíduos na construção civil: um estudo de caso em Belo Horizonte e Região Metropolitana. **Revista eletrônica de engenharia civil**, v. 14, n. 1, jan/jun 2018.

LINS, E. J. M. **Banco de dados de indicadores de resíduos de construção e demolição (RCD) procedentes de edificações na cidade do Recife**. 2020. 240p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica de Pernambuco, Recife, 2020.

LORDSLEEM, JR. A. C. **“Metodologia para capacitação gerencial de empresas subempreiteiras”**, 2002.288p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, USP, 2002.

LUKMAN A. A. et al. Salvaging building materials in a circular economy: A BIM-based whole-life performance estimator. Resources, **Conservation & Recycling**. v. 129, 175–186, 2018.

MENDES, S.; MORAIS, F.; BRANDÃO, D. **Sistemas para fachadas ventiladas um estudo comparativo**. Porto: CESAP – Cooperativa de Ensino Superior Artístico do Porto, 2016. 41 p.

SANTOS, M. H.; MARCHESINI, M.M. P. Logística reversa para a destinação ambientalmente sustentável dos resíduos de construção e demolição (RCD). **Revista Metropolitana de Sustentabilidade**. v. 8, n. 2, p. 67-85, maio 2018.

SILVA, C., PERTEL, M. Gestão de resíduos sólidos na construção civil: proposta de um plano de gerenciamento para reforma. **Revista Boletim do Gerenciamento**, Rio de Janeiro, n. 14, 2020.

SILVA, F.C.; SANTOS, F.F.; KLAMT, R.A. Ações para o gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos gerados na construção de edificações. **RESMA**, v. 1, n. 1, p. 1-23, 2015.

TAM, V. W. Y; HAO, J. J. L. Attitudes towards recycling on construction sites. In: Proceedings of the Institution of Civil. **Engineers-Waste and Resource Management**. Thomas Telford Ltda, 2016. p. 131-136. <https://doi.org/10.1680/jwarm.15.00006>

VILLORIA SÁEZ, P.; MERINO, M. D. R.; AMORES, C. P.; GONZÁLES, A. S. A. Assessing the accusations of construction waste generation during residential Building construction works. **Rasoures, Conservation and Recycling**, v. 93, p. 67-74, 2014.
DOI: 10.1016/j.resconrec.2014.10.004

WANG, J.; LI, Z.; TAM, V. W. Y. Identifying best design strategies for construction waste minimization. **Journal of Cleaner Production**, v. 92, p.237-247, 2015.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.076>

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil - (CAPES) - Código de Financiamento 001.

AUTORES

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7704-8422>

MARIA EZIR RODRIGUES DE QUEIROZ | Titulação: Bacharelado em desenvolvimento | Universidade de Pernambuco | Engenharia Civil | Recife, PE - Brasil | Correspondência para: R. Benfica, 455 - Madalena, Recife - PE, 50720-001 | E-mail: merq@poli.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7818-7897>

JAQUELINE MATA DE OLIVEIRA, Me. | Universidade de Pernambuco | Engenharia Civil | Recife, PE - Brasil | Correspondência para: R. Benfica, 455 - Madalena, Recife - PE, 50720-001 | E-mail: jmo@poli.br

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3276-0621>

ALBERTO CASADO LORDSLEEM JÚNIOR, Dr. | Universidade de Pernambuco | Engenharia Civil | Recife, PE - Brasil | Correspondência para: R. Benfca, 455 - Madalena, Recife - PE, 50720-001 | E-mail: acasado@poli.br

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8684-3591>

DÉBORA DE GOIS SANTOS, Dra. | Universidade Federal de Sergipe | Engenharia Civil | São Cristóvão, SE - Brasil | Correspondência para: Avenida Marcelo Deda Chagas - Rosa Else, São Cristóvão - SE, CEP 49107-230 | E-mail: deboragois@academico.ufs.br

COMO CITAR ESTE ARTIGO

QUEIROZ, Maria Ezir Rodrigues de; OLIVEIRA, Jaqueline Mata de; LORDSLEEM JR., A. C.; SANTOS, Débora de Gois. MIX Sustentável, v. 9, n. 5, p. 91-100, 2023. ISSN 2447-3073. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: / / . doi: <<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n5.91-100>>.

SUBMETIDO EM: 15/09/2022

ACEITO EM: 22/04/2023

PUBLICADO EM: 31/10/2023

EDITORES RESPONSÁVEIS: Lisiane Ilha Librelotto e Paulo Cesar Machado Ferroli.

Registro da contribuição de autoria:

Taxonomia CRediT (<http://credit.niso.org/>)

MER: conceituação, curadoria de dados, análise formal, aquisição de financiamento, investigação, metodologia, administração de projetos, visualização, escrita - rascunho original, escrita - revisão & edição.

JAM: conceituação, curadoria de dados, análise formal, aquisição de financiamento, investigação, metodologia, administração de projetos, visualização, escrita - rascunho original, escrita - revisão & edição.

ACL: conceituação, análise formal, aquisição de financiamento, metodologia, administração de projetos, supervisão, validação, visualização, escrita - rascunho original, escrita - revisão & edição.

DGS: conceituação, análise formal, metodologia, supervisão, validação, visualização, escrita - revisão & edição.

Declaração de conflito: nada foi declarado.

PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE UM DICIONÁRIO ILUSTRADO DE CONFORTO LUMÍNICO

DEVELOPMENT PROCESS OF AN ILLUSTRATED DICTIONARY OF LIGHTING COMFORT

PROCESO DE DESARROLLO DE UN DICCIONARIO ILUSTRADO DE CONFORT LUMÍNICO

EGON VETTORAZZI, Dr. | UNILA - Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Brasil.

GIULIANA DOS SANTOS PAZ, Dr. | USACH- Universidad de Santiago de Chile, Chile.

HELENICE MARIA SACTH, Dr. | UNILA - Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Brasil.

VITÓRIA FRANCESCON CITTOLIN | UNILA - Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Brasil.

RESUMO

A luz é um elemento indispensável para a vida, sendo que cerca de 70% da percepção humana é visual. Além disso, é responsável por uma parcela significativa do consumo energético das edificações. Dada a relevância do tema, este trabalho tem por objetivo desenvolver um dicionário ilustrado sobre conforto lumínico, voltado principalmente aos estudantes e profissionais de arquitetura e urbanismo e engenharia civil. Como metodologia, primeiramente foi pesquisado bibliografias nacionais e internacionais sobre o tema e foi realizada uma listagem dos cem verbetes considerados mais relevantes. Cada verbete recebeu, pelo menos, três citações diretas e foram atribuídas uma ou mais imagens para auxiliar no entendimento da descrição. Posteriormente foi feito um levantamento fotográfico de elementos da arquitetura que auxiliam no entendimento de expressões sobre conforto lumínico. Ao final, foi feita uma formatação e organização da diagramação inicial do conteúdo do dicionário. Posteriormente aspira-se desenvolver desenhos explicativos, de caráter didático, para melhorar a compreensão de cada verbete além da descrição dos termos também na língua espanhola, para atender, além do Brasil, a comunidade latino-americana. Como resultado, pretende-se contribuir com a democratização do conhecimento de termos técnicos relativos ao conforto lumínico, auxiliando os estudantes e profissionais da área na apropriação desses termos.

PALAVRAS-CHAVE

Dicionário; Conforto lumínico; Luz; Eficiência energética; Projeto arquitetônico.

ABSTRACT

Light is an essential element for life, with about 70% of human perception being visual. In addition, it is responsible for a significant portion of the energy consumption of buildings. Given the relevance of the topic, this work aims to develop an illustrated dictionary on light comfort, aimed mainly at students and professionals in architecture, urbanism, and civil engineering. As a methodology, firstly, national and international bibliographies on the subject were researched, and a list of the hundred entries considered most relevant was made. Each entry received at least three direct citations, and one or more images were attributed to help in understanding the description. Subsequently, a photographic survey was made of architectural elements that help in the understanding of expressions about light comfort. At the end, a formatting and organization of the initial layout of the dictionary content was done. Subsequently, we aspire to develop explanatory drawings, of a didactic nature, to improve the understanding of each entry in addition to the description of the terms also in the Spanish language, to serve, in addition to Brazil, the Latin American community. As a result, it is intended to contribute to the democratization of knowledge of technical terms related to lighting comfort, helping students and



professionals in the area to appropriate these terms.

KEYWORDS

Dictionary; Light Comfort; Light; Energy Efficiency; Architectural Design

RESUMEN

La luz es un elemento esencial para la vida, y alrededor del 70% de la percepción humana es percepción visual. Además, la luz es responsable de una parte importante del consumo energético de los edificios. Dada la relevancia del tema, este trabajo tiene como objetivo desarrollar un diccionario ilustrado sobre el confort lumínico, direccionado principalmente a estudiantes y profesionales de arquitectura, urbanismo e ingeniería civil. Como metodología, en primer lugar, se investigó bibliografía nacional e internacional sobre el tema y se elaboró una lista de los cien términos considerados más relevantes. Cada término recibió, al menos, tres citas directas y se asignaron una o más imágenes para ayudar a comprender la descripción. Después, se realizó una búsqueda y selección fotográfica de elementos arquitectónicos que ayudan en la comprensión de expresiones sobre el confort lumínico. Al final, se realizó un formateo y organización de la diagramación gráfica inicial del contenido del diccionario. De este modo, anhelamos desarrollar dibujos explicativos, de carácter didáctico, para potenciar la comprensión de cada término, además de la descripción de los términos en el idioma español, para atender también la comunidad latinoamericana, no solamente a Brasil. Como resultado, se espera contribuir a la democratización del conocimiento de los términos técnicos relacionados con el confort lumínico, ayudando a los estudiantes y a los profesionales del área a apropiarse de esos términos.

PALABRAS CLAVE

Diccionario; Confort Lumínico; Luz; Eficiencia energética; Diseño arquitectónico



1. INTRODUÇÃO

O ser humano é totalmente dependente da luz. A luz é um elemento indispensável para nossas vidas, sendo cerca de 70% da percepção humana é visual (DUTRA, 2013). Porém, a luz é encarada de forma familiar e natural, fazendo com que sua real importância e necessidade, em muitos casos, seja negligenciada pelos projetistas (RODRIGUES, 2002).

Um bom projeto de iluminação propicia a visualização do ambiente, permitindo que as pessoas vejam, se movam com segurança e desempenhem tarefas visuais de maneira eficiente, precisa e segura, sem causar fadiga visual e desconforto. A iluminação pode ser natural, artificial ou uma combinação de ambas (ABNT, 2013).

O projetista tem como objetivo entender e responder às necessidades humanas usando o espaço com considerações econômicas e ambientais e responder aos objetivos arquitetônicos, e então traduzir os resultados em um projeto de iluminação funcional e agradável (DUTRA, 2013). Para um bom projeto de iluminação natural é imprescindível entender o contexto climático, ambiental, cultural e construtivo da região de sua implantação.

A luz proveniente do sol influencia o uso, o tempo e a dinâmica do espaço. A forma de um edifício, o dimensionamento das aberturas e dos espaços devem adequar-se à disponibilidade de luz solar, para bom desempenho das atividades ao qual o ambiente foi projetado, seja para atividades laborais, trabalho, ou não laborais, como o lazer. A luz natural é um importante aspecto da edificação, pois produz iluminação para as atividades, conexão visual com o exterior, luminosidade para o interior e tem a capacidade de estimular experiências sensoriais e cognitivas de satisfação e conforto aos usuários, otimizando a qualidade de um ambiente construído. A importância do aproveitamento da luz natural na arquitetura transcende a questão da necessidade de redução do consumo de energia vivida nos dias de hoje. Ela é associada também ao conforto e aos conceitos de qualidade ambiental (AMORIM, 2002).

A iluminação artificial, aquela produzida através de técnicas concebidas pelo ser humano, surge como um complemento à luz solar. Deste modo, uma boa iluminação artificial contribui para criar um ambiente que oferece conforto ao usuário na ausência da luz natural, como em ambientes sem aberturas ou no período da noite. A iluminação artificial também é mais facilmente controlável, o que possibilita desenvolver projetos que atendam muito bem a atividade visual ao qual é proposto. Já a luz natural é variável conforme o dia, meses e anos.

Ao longo dos anos o ser humano vem aprimorando as tecnologias que envolvem os sistemas de iluminação, atualmente temos diversos tipos de equipamentos disponíveis para diversas aplicações. Para cada diferente atividade humana, visando o melhor desempenho, há certa necessidade em relação à iluminação: no escritório, na fábrica, numa loja, em diferentes ambientes residenciais como dormitórios, áreas de serviço, cozinha e etc. Conhecer a luz, as alternativas disponíveis e saber controlar quantidade e qualidade, são ferramentas preciosas para o sucesso de qualquer projeto (RODRIGUES, 2002).

No Brasil, 20% de toda a energia consumida é destinada à iluminação. Em edifícios comerciais e de serviços, esse percentual aumenta para 40% (DUTRA, 2013). Segundo levantamento publicado pela Eletrobras (ELETROBRAS, 2007), no Brasil 14% da energia elétrica consumida em uma edificação residencial é voltada para a iluminação. Ou seja, para além das questões de qualidade lumínica dos espaços, a questão da eficiência energética também deve ser considerada diante da realidade de crises energéticas e ambientais da atualidade, já que, possui uma parcela considerável do consumo energético de uma edificação.

As questões relacionadas à habitabilidade dos espaços, especificamente aquelas referentes às condições de conforto luminoso, higrotérmico, acústico e de ventilação natural são fundamentais para uma atividade que pretende colocar a satisfação do homem como o seu principal objetivo. Quanto maior for o conhecimento dos profissionais envolvidos com projetos arquitetônicos sobre a luz natural e artificial, melhor será a qualidade dos projetos desenvolvidos, trazendo também benefícios ambientais e econômicos.

Desta forma, a proposta deste trabalho é contribuir de uma forma simples e didática com as necessidades de compreensão de termos relacionados ao espaço construído e ligados à iluminação, tanto de fontes naturais quanto artificiais. Como os arquitetos e engenheiros transmitem suas ideias através de desenhos, considera-se fundamental o esclarecimento dos termos utilizando uma definição escrita e gráfica. Assim, aspira-se desenvolver posteriormente desenhos explicativos, de caráter didático, para melhorar a compreensão de cada verbete além da descrição dos termos também na língua espanhola, para atender, além do Brasil, a toda comunidade latino-americana.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

Este trabalho tem como principal objetivo o desenvolvimento de um dicionário ilustrado de conforto lumínico, voltado aos estudantes e profissionais de arquitetura e urbanismo e engenharia civil.

1.1.2. Objetivo específico

- Auxiliar os estudantes e profissionais de arquitetura e urbanismo e engenharia civil no entendimento de expressões importantes para o desenvolvimento de projetos de edificações com conforto lumínico aos usuários;
- Democratizar o acesso ao conhecimento técnico;
- Colaborar com desenvolvimento de projetos de edificações com maior conforto lumínico aos usuários e maior eficiência energética.

2. METODOLOGIA

A metodologia do trabalho foi dividida em cinco principais etapas: Seleção de referências bibliográficas; Listagem de palavras/termos; Descrição das palavras e termos; Levantamento fotográfico; e Diagramação e organização gráfica inicial do dicionário.

A seguir, cada etapa é detalhada.

2.1. Seleção de referências bibliográficas

Nessa etapa foram selecionadas referências bibliográficas, nacionais e internacionais, sobre a temática de conforto lumínico na arquitetura e na engenharia civil para que posteriormente fossem consultadas para a descrição dos termos/verbetes. Entre as referências selecionadas, foram pesquisados livros, normas técnicas e artigos acadêmicos, na língua portuguesa, espanhola e inglesa. Entre as referências adotadas, cabe destacar: *Concepts and Practice of Architectural Daylighting* (MOORE, 1991); *Daylighting: natural light in architecture* (PHILLIPS, 2004); Dicionário da Arquitetura Brasileira (CORONA, LEMOS, 2017); Dicionário Ilustrado de Arquitetura, Volume I e Volume II (ALBERNAZ, LIMA, 2003a, ALBERNAZ, LIMA, 2003b); *Diccionario Visual de Arquitectura* (CHING, 2014); Eficiência Energética na Arquitetura (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 2014); Fundamentos de Projeto de Edificações Sustentáveis (KEELER; BURKE, 2018); Iluminância de Interiores. Rio de Janeiro, (ABNT, 2013); Iluminação Natural (ABNT, 2005) e

Sustainable Built Environments (LOFTNESS, 2020). Ao total, foram consultadas mais de 80 referências.

2.2. Listagem de palavras/termos

Com base nas referências bibliográficas selecionadas na etapa anterior, foram definidas as 100 palavras consideradas mais relevantes sobre o tema, a partir do maior número de incidência. Para a organização do desenvolvimento do trabalho, as palavras foram classificadas em cinco diferentes categorias principais e em subcategorias, conforme consta na tabela a seguir:

Categorias principais	Subcategorias
1. Conceitos básicos	
2. Iluminação Natural	2.1 Sol 2.2 Iluminação lateral 2.3 Fechamentos transparentes 2.4 Fechamentos translúcidos 2.5 Fechamento opaco 2.6 Elemento de controle solar 2.7 Iluminação zenital 2.8 Outros
3. Iluminação artificial/elétrica	3.1. Grandezas relativas à percepção visual e fotométricas 3.2. Tipos de lâmpadas 3.3 Tipos de luminárias 3.4 Sistemas de iluminação 3.5 Poluição luminosa 3.6 Outros
4. Equipamentos	
5. Propriedades óticas dos materiais	

Tabela 1: Categorias das palavras pesquisadas.

Fonte: Desenvolvido pelos autores (2023).

2.3. Listagem de palavras/termos

Para cada um dos termos selecionados, foram feitas, pelo menos, três citações diretas, descritas com base nas referências bibliográficas definidas na primeira etapa da pesquisa. Da mesma forma, para cada palavra, foi atribuída, pelo menos, uma ilustração explicativa. Toda etapa do

trabalho foi desenvolvida de forma colaborativa entre professores e estudantes colaboradores, em documento compartilhado em plataforma virtual. Toda descrição foi acompanhada da referência e do número da página da citação direta. As citações diretas em línguas estrangeiras, foram apresentadas na língua original e, logo em seguida, traduzida para o português.

2.4. Levantamento fotográfico

Outra importante etapa foi a realização do levantamento fotográfico de elementos arquitetônicos relevantes do ponto de vista da iluminação, especialmente natural. Primeiramente, foi realizada uma listagem dos elementos arquitetônicos de interesse a serem fotografados e, posteriormente, foi realizado o levantamento fotográfico em diferentes cidades e edificações. Entre os principais elementos fotografados estão: fachadas de vidro; brise vertical fixo; brise vertical móvel; brise misto com parte horizontal móvel; brise fixo com parte vertical móvel; brise misto fixo; vitrais coloridos; elementos de sombreamento similares a varandas; cobogós, etc. Também foram fotografados elementos com muxarabis (elemento treliçado de madeira com a finalidade de controle solar externo, privacidade do ambiente e controle da ventilação), janelas guilhotina; bandeira de porta; bandeira de janela; gelosia; rótula; janela balaustrada; beiral; balcões/sacadas/varandas; janelas com veneziana; mansardas, etc.

Para complementação do levantamento fotográfico, também foram utilizadas fotos de terceiros, com a devida autorização.

As principais cidades onde foram feitos os levantamentos fotográficos das edificações foram Brasília-DF, Rio de Janeiro-RJ, Diamantina-MG, Ouro Preto-MG e Paraty-RJ. As fotos de terceiros tiveram edificações das cidades de São Paulo-SP; Três Coroas-RS e de Aveiro, em Portugal.

2.5. Diagramação e organização gráfica inicial do dicionário

Após realizada as etapas anteriores, na quinta e última etapa, foi realizado um esboço da diagramação da primeira versão do dicionário. Para a diagramação inicial do dicionário, foram considerados alguns aspectos como o tamanho da folha desejada, os tipos de fontes utilizados, formatação, definição das cores, dentre outros aspectos. Os estudos foram realizados com os programas computacionais InDesign e Corel Draw. Essa etapa foi realizada na seguinte sequência:

- a) Pesquisa de referências bibliográficas para análise de diagramação e de organização de elementos textuais e de imagens: para a realização da diagramação foram utilizadas algumas referências bibliográficas que serviram como base para o projeto gráfico;
- b) Definição do projeto gráfico, estabelecendo a comunicação visual da publicação: definição do formato da folha, cores e fontes;
- c) Definição do modelo (*template*) a ser utilizado, incluindo capa, índices, capítulos e contracapa: organização da distribuição do conteúdo, como as imagens, textos, títulos e legendas;
- d) Diagramação a partir do *template*, organizando todos os elementos que compõem o dicionário: nessa parte foi feito um teste inicial da diagramação, com a distribuição dos conteúdos no modelo.

2.6. Processo de ilustração

Esta etapa tem como objetivo desenvolver desenhos explicativos de caráter didático, visando melhorar a compreensão de cada palavra/termo. O desenvolvimento dos desenhos será feito posteriormente, porém, neste momento, será apresentada uma breve descrição da metodologia adotada:

3. RESULTADOS

- a) Para cada palavra descrita, conforme informado no item 2.3, foi atribuída, pelo menos, uma ilustração com o intuito de auxiliar na compreensão da descrição;
- b) Com base nas ilustrações existentes e na interpretação das descrições dos termos/verbetes, serão desenvolvidos esboços à mão livre;
- c) Cada esboço desenvolvido na etapa anterior será posteriormente digitalizado em formato vetorial utilizando o programa computacional Corel Draw;
- d) Por fim, será realizada a conferência e os ajustes necessários para a finalização do desenho.

Os principais resultados do trabalho desenvolvido até o momento são apresentados nos itens a seguir.

3.1. Listagem de palavras/termos

Com base nas referências bibliográficas adotadas, foram selecionados os verbetes considerados com mais relevância sobre a temática envolvendo conforto lumínico

na arquitetura. A ideia inicial era selecionar 100 palavras, porém, ao final, foram selecionadas 118. A tabela 02, APÊNDICE A, apresenta todas as palavras selecionadas para o dicionário e as categorias e subcategorias em que foram enquadradas.

3.2. Descrição palavras/termos

Ao total, foram realizadas, pelo menos, três descrições/citações diretas de todas as 118 palavras selecionadas anteriormente. Para cada palavra, também foi selecionada, pelo menos, uma ilustração com o intuito de auxiliar no entendimento da descrição. O documento, feito de forma colaborativa entre todos os participantes da pesquisa, entre alunos e professores, com as descrições/citações diretas e ilustrações, possui 316 páginas de conteúdo. A descrição de cada palavra foi organizada em tabela, com a numeração correspondente ao item descrito, o nome do item descrito, a descrição/citação direta, a referência e o número da página da referência. Na tabela 03, APÊNDICE B, é apresentado um exemplo da descrição da palavra número 46, iluminação zenital. As ilustrações presentes no APÊNDICE B são das referências mencionadas na tabela.

3.3. Levantamento fotográfico

O levantamento fotográfico, conforme descrito na metodologia, foi realizado em edificações de cidades diversas, de forma a abranger diferentes períodos da arquitetura, em especial brasileira, e também uma variedade do mesmo elemento arquitetônico, na tentativa de demonstrar distintas possibilidades e aplicabilidades de cada elemento. Os elementos fotografados foram selecionados previamente, através da identificação de edificações com características de interesse do trabalho, e teve como objetivo auxiliar na compreensão do termo descrito anteriormente no item 3.2.

A Figura 01, demonstra elementos de controle solar externos, que visam entre outras coisas, filtrar o excesso de radiação solar externa melhorando a distribuição de luz no interior dos ambientes. Na Figura 01, há fotografia de brises horizontais móveis, brise verticais móveis, brises mistos fixos e brises verticais fixos. As fotos foram realizadas nas cidades de Brasília-DF e Rio de Janeiro-RJ. Entre os autores das obras estão grandes nomes da arquitetura nacional, como Oscar Niemeyer, Affonso Eduardo Reidy, Lucio Costa, João Filgueiras Lima (Lelé), entre outros.



Figura 1: Levantamento fotográfico: diferentes tipos de brises.
Fonte: Desenvolvido pelos autores (2023).

As imagens a seguir, Figura 02, foram realizadas na cidade de Brasília-DF e Rio de Janeiro-RJ, com foco em elementos em fachadas envidraçadas e vitrais. As fachadas de vidro começaram a se popularizar entre a primeira metade do século XX e início da segunda metade do século XX. Apesar dos seus benefícios quanto à iluminação natural e ao contato com o exterior, tem a problemática do aumento da temperatura interna através do efeito estufa. Já os vitrais coloridos tiveram sua intensificação de uso na Idade Média, com as catedrais góticas, e até hoje são utilizados abundantemente na arquitetura religiosa devido ao seu caráter artístico e teatral.

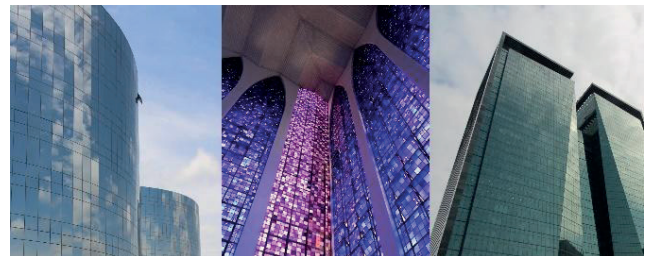


Figura 2: Levantamento fotográfico: diferentes tipos de brises.
Fonte: Desenvolvido pelos autores (2023).

Também foi realizado um levantamento fotográfico de treliças de madeira, especialmente utilizadas na arquitetura do período colonial brasileiro, conforme ilustrado na Figura 03. Esses elementos foram muito utilizados pela arquitetura colonial brasileira para, entre outras coisas, auxiliar no controle da luminosidade excessiva no interior da edificação. Também serviram de inspiração para o desenvolvimento de elementos vazados no século XX, como os cobogós. Foram registradas fotografias de edificações de cidades históricas brasileiras, como Diamantina-MG, Ouro Preto-MG e Paraty-RJ.



Figura 3: Levantamento fotográfico: treliçados de madeira protegendo janelas da radiação solar excessiva.

Fonte: Desenvolvido pelos autores (2023).

Sendo a janela um dos principais elementos que contribuem com a iluminação lateral na arquitetura, foi realizado o levantamento fotográfico de diferentes tipos de janelas, como janela guilhotina, com venezianas, somente com escuros, com bandeiras, com balaústres e etc. A Figura 04, apresenta esses elementos em diferentes cidades históricas brasileiras. Com as fotografias, também se buscou resgatar um pouco desses importantes elementos da arquitetura brasileira que, infelizmente, cada vez são mais negligenciados e muitas vezes, simplificada, só são substituídos por vidros, sem controle algum da radiação solar externa e do excesso de luminosidade.



Figura 4: Levantamento fotográfico: alguns tipos de janelas.

Fonte: Desenvolvido pelos autores (2023).

Também, a iluminação zenital é um importante recurso para iluminação natural dos espaços internos, especialmente daqueles que não possuem iluminação lateral, como janelas, ou então que possuem grandes dimensões horizontais e, que, por esse motivo, somente a iluminação

lateral não conseguiria iluminar suficientemente todos os espaços. A Figura 05, demonstra o levantamento fotográfico realizado em edificações de diferentes épocas, na cidade de Rio de Janeiro-RJ.

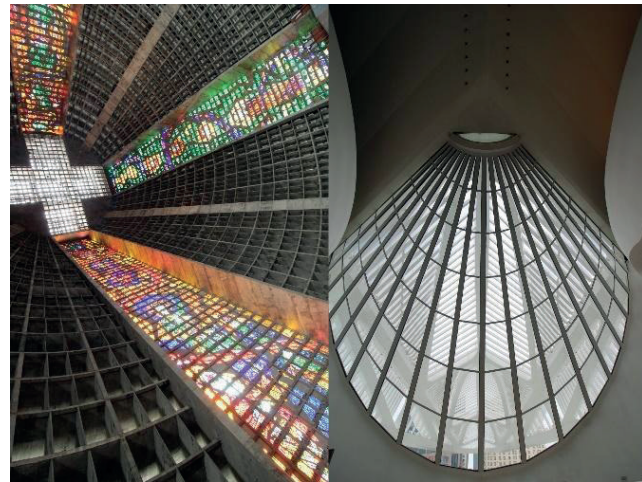


Figura 5: Levantamento fotográfico: iluminação zenital em obras arquitetônicas de diferentes períodos.

Fonte: Desenvolvido pelos autores (2023).

3.4. Diagramação e organização gráfica inicial do dicionário

Após realização das etapas anteriores, foi feita a formatação gráfica inicial do dicionário. A Figura 06, apresenta a definição do projeto gráfico, que estabelece a comunicação visual da publicação. Na imagem é possível identificar o posicionamento da letra do dicionário, do título, das colunas de texto, das margens adotadas, das imagens e da legenda das imagens.

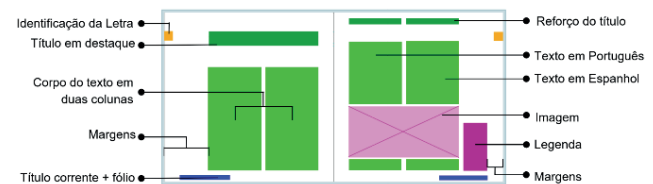


Figura 6: Definição do projeto gráfico dos dicionários.

Fonte: Desenvolvido pelos autores (2023).

A Figura 07 demonstra a definição de cores adotadas para o dicionário de conforto lumínico. Foi adotado o padrão RGB (R = Red (vermelho); G = Green (verde); B = Blue (azul)). Foi utilizada como cor predominante o azul, além da cor preta para os textos em português, azul para textos em espanhol e branco para o fundo.

A Figura 08 ilustra a disposição de textos seguindo a formatação proposta para o Dicionário Ilustrado de Conforto Lumínico. Na figura é apresentado o sumário e o prefácio. É possível observar o uso das cores azul, branco e preto.

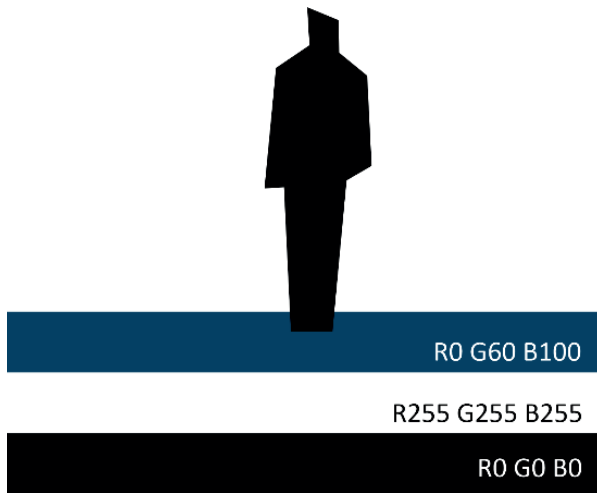


Figura 7: Cores adotadas para o dicionário.
Fonte: Desenvolvido pelos autores (2023).



Figura 8: Cores adotadas para o dicionário.
Fonte: Desenvolvido pelos autores (2023).

A Figura 09, ilustra a disposição de textos das descrições e títulos no interior do Dicionário Ilustrado de Conforto Lumínico. É possível verificar o tamanho da fonte utilizado para cada elemento como os títulos, corpo do texto e legendas além das cores. Também é possível observar a organização para a disposição das figuras e das legendas.

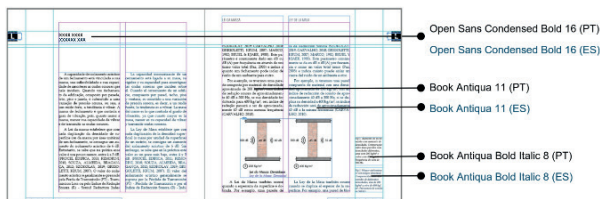


Figura 9: Definição do template do corpo de texto para o dicionário de conforto lumínico.
Fonte: Desenvolvido pelos autores (2023).

3.5. Processo de ilustração

Conforme descrito na metodologia, as ilustrações foram inicialmente feitas através de esboços à mão (Figura 10).

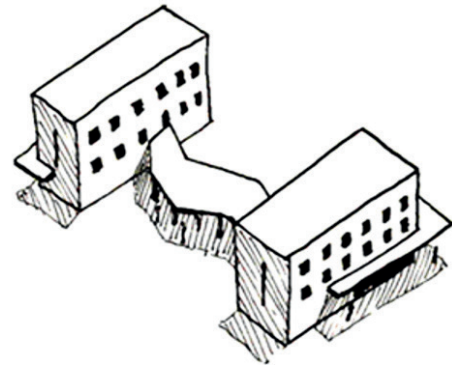


Figura 10: Esboços feitos à mão.
Fonte: Desenvolvido pelos autores (2023).

Posteriormente, as ilustrações serão vetorizadas no programa CorelDraw, conforme a Figura 11. Apesar da semelhança entre esboço e ilustração final, é possível perceber que há adaptações com o intuito de facilitar o entendimento do termo.

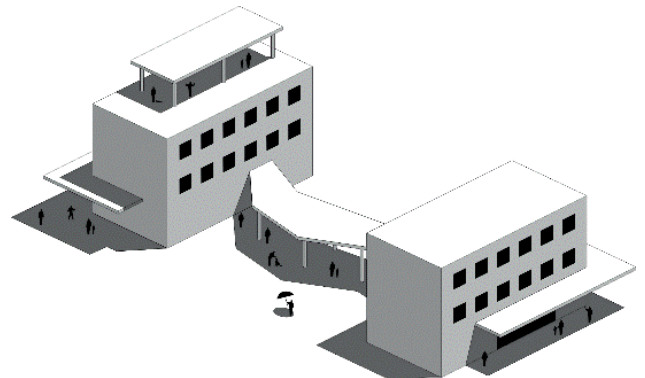


Figura 10: Vetorização dos desenhos.
Fonte: Desenvolvido pelos autores (2023).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A iluminação é de fundamental importância para a vida humana. A arquitetura desempenha um papel crucial na qualificação dos espaços interiores, permitindo o desenvolvimento das atividades e proporcionando a quantidade e o arranjo adequados de luz. Dessa forma, entender conceitos básicos, referentes ao conforto lumínico, é um fator primordial para o desenvolvimento de projetos por arquitetos. O trabalho desenvolvido tem por objetivo auxiliar didaticamente estudantes e profissionais da área, promovendo uma compreensão mais completa acerca da iluminação arquitetônica e seus conceitos, visando projetos de edificações que contribuam com a melhoria da

qualidade de vida dos usuários e também com a eficiência energética.

Atualmente, a questão energética e ambiental é um dos assuntos mais relevantes no cenário internacional. Infelizmente, vivemos um período onde crises ambientais e energéticas são constantes e a insegurança gerada por essa instabilidade está sempre nos noticiários. Recentemente, em 2021, o Brasil passou por uma crise energética devido à escassez de chuvas, que levou ao desabastecimento das hidroelétricas e ao aumento da produção de energia pelas termoeletricas, elevando o custo da energia. Em 2022 e 2023, a Europa sofre com a dependência externa e o desabastecimento de gás natural, trazendo preocupações especialmente no período de inverno pela necessidade de aquecimento das edificações. Nesse sentido, o trabalho desenvolvido, visa informar com linguagem acessível e didática, como soluções adequadas em termos de iluminação, seja natural ou artificial, podem possibilitar projetos de espaços arquitetônicos de maior qualidade do ponto de vista lumínico ao mesmo tempo que tenham menor consumo energético. O aproveitamento da iluminação natural em conjunto com a iluminação artificial é de extrema relevância para o desenvolvimento de projetos que estejam alinhados com as problemáticas ambientais e energéticas enfrentadas pela sociedade atual.

Porém, é importante destacar que a utilização da luz natural pela arquitetura transcende a questão da necessidade de redução do consumo de energia vivida nos dias de hoje. Ela deve ser compreendida, além de uma questão de qualidade ambiental, como uma questão de saúde e necessidade básica do ser humano.

Para se obter um resultado acessível para o público acadêmico e profissional, a diagramação do dicionário foi desenvolvida pensando na questão da estética da apresentação do conteúdo, de forma organizada e clara, com cores e utilização de textos que visam facilitar a leitura e o entendimento. Além disso, houve a preocupação de utilizar fotografias inéditas e de qualidade suficientemente adequadas para a base de ensino em Arquitetura. Com a conclusão do dicionário busca-se contribuir com a democratização do conhecimento, promovendo a difusão de termos e conceitos relacionados à área do conforto lumínico e, como mencionado anteriormente, colaborar com a questão energética e ambiental, especialmente do Brasil, e também da América Latina.

REFERÊNCIAS

- ALBERNAZ, M. P.; LIMA, C. M. **Dicionário ilustrado de arquitetura**. Volume I. ProEditores, 2003a.
- ALBERNAZ, M. P.; LIMA, C. M. **Dicionário ilustrado de arquitetura**. Volume II. ProEditores, 2003b.
- AMORIM, C. N. D. Iluminação Natural e Eficiência Energética—Parte I. Estratégias de projeto para uma arquitetura sustentável. **Periódico eletrônico em Arquitetura e Urbanismo Paranoá**, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15215-1: Iluminação Natural**. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/CIE 8995-1: Iluminância de Interiores**. Rio de Janeiro, 2013.
- CHING, F. **Dicionário visual de arquitetura**. Gustavo Gili, 2014.
- CORONA, E.; LEMOS, C. A. C. **Dicionário da arquitetura brasileira**. 2. ed. São Paulo: Romano Guerra, 2017.
- DUTRA, L. **Apostila de iluminação na arquitetura: Conforto Visual**. 2013.
- ELETROBRAS. **Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso, ano base 2005: Classe Residencial Relatório Sul**. Rio de Janeiro: ELETROBRAS; PROCEL, 2007b. 160 p.
- KEELER, M.; BURKE, B. **Fundamentos de projeto de edificações sustentáveis**. Porto Alegre: Grupo A-Bookman, 2018.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª edição. Eletrobras. 2014.
- LOFTNESS, V. **Sustainable Built Environments**. Springer, 2020.
- MOORE, F. **Concepts and Practice of Architectural Daylighting**. 1. Ed. Nova Iorque: Van Nostrand Reinhold. 1991.
- PHILLIPS, D. **Daylighting: natural light in architecture**.

Routledge, 2004.

RODRIGUES, P. **Manual de iluminação eficiente**. Rio de Janeiro: Eletrobras/Procel, 2002.

AUTORES

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6905-3325>

EGON VETTORAZZI, DOUTOR. | Universidade Federal da Integração Latino-Americana (Unila) | Arquitetura e Urbanismo | Foz do Iguaçu, PR – Brasil | Correspondência para: Avenida Tancredo Neves 6731, Bloco 06, Espaço 01, Sala 02, Conjunto B, 85867970 - Foz do Iguaçu, PR - Brasil |E-mail: egon.vettorazzi@unila.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7753-6647>

GIULIANA DOS SANTOS PAZ, DOUTORA. | Universidad de Santiago de Chile | Escuela de Arquitectura | Santiago, Región Metropolitana, Chile | Correspondência para: Av. Lib. Bernardo O'Higgins 3677, Estación Central, Santiago-Chile, Código Postal: 9160000. E-mail: giuliana.dossantos@usach.cl

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4674-9629>

HELENICE MARIA SACTH, DOUTORA. | Universidade Federal da Integração Latino-Americana (Unila) | Engenharia Civil de Infraestrutura | Foz do Iguaçu, PR - Brasil | Correspondência para: Avenida Tancredo Neves 6731, Bloco 06, Espaço 01, Sala 10, Conjunto B, 85867970 - Foz do Iguaçu, PR - Brasil | E-mail: helenice.sacht@unila.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-7672-7139>

VITÓRIA FRANCESCON CITTOLIN, BACHAREL. | Universidade Federal da Integração Latino-Americana – UNILA | Arquitetura e Urbanismo | Cascavel, PR - Brasil | Correspondência para: R. Presidente Juscelino Kubitscheck 1376, apto 1904 - Coqueiral, Cascavel - PR, 85805-002. E-mail: vitoria.francescon.cittolin@gmail.com

COMO CITAR ESTE ARTIGO

VETTORAZZI, Egon; PAZ, Giuliana dos Santos; SACTH, Helenice Maria; CITTOLIN, Vitória Francescon. Processo de Desenvolvimento de um Dicionário Ilustrado de Conforto Lumínico. **MIX Sustentável**, v. 9, n. 5, p. 101-113, 2023. ISSN 244-73073. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: dia/mês/ano doi: <<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n5.101-113>>.

[org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n5.101-113](https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n5.101-113)>.

SUBMETIDO EM: 13/01/2023

ACEITO EM: 16/06/2023

PUBLICADO EM: 30/10/2023

EDITORES RESPONSÁVEIS: Carlo Franzato e Paulo Cesar Machado Ferroli

Registro da contribuição de autoria:

EV: conceituação, curadoria de dados, análise formal, aquisição de financiamento, investigação, metodologia, administração de projetos, supervisão, validação, visualização, escrita - rascunho original, escrita - revisão e edição.

GSP: conceituação, curadoria de dados, investigação, metodologia, validação, visualização, escrita - rascunho original, escrita - revisão e edição.

HMS: conceituação, curadoria de dados, análise formal, investigação, metodologia, validação, visualização, escrita - rascunho original, escrita - revisão e edição.

VFC: curadoria de dados, investigação, metodologia.

Declaração de conflito: nada foi declarado.

APÊNDICE A

1. Conceitos básicos		31	Películas	3. Iluminação artificial/elétrica		91	Luz Decorativa
01	Luz	2.4 fechamentos translúcidos		3.1. Grandezas relativas à percepção visual e fotométricas		92	Modulação de Intensidade (dimmer)
02	Sombra	32	Fechamento translúcido	61	Fluxo Radiante (watt [W])	93	Luz Arquitetônica
03	Penumbra	33	Tijolo de vidro	62	Fluxo luminoso - F (lúmen [lm])	94	Sistema direto
04	Conforto lumínico	2.5 Fechamento opaco		63	Eficiência luminosa (lm/W)	95	Sistema Indireto
05	Luz natural	34	Fechamento opaco	64	Intensidade Luminosa (I)	96	Sistema Semi-Indireto
06	Luz artificial	2.6 Elemento de controle solar		65	Iluminância (lúmen/m ² ou lux [lx])	97	Iluminação Geral
07	Fator de luz diurna (FLD)	35	Elemento de controle solar externo	66	Luminância (cd/m ²)	98	Iluminação Localizada
08	Contraste	36	Elemento de controle solar interno	67	Índice de Reprodução de Cor (IRC)	99	Iluminação de tarefa
09	Acuidade visual	37	Brise	68	Temperatura de Cor: (K)	3.5 Poluição luminosa	
10	Desempenho visual	38	Cobogó	69	Vida média (h)	100	Poluição luminosa
11	Eficiência visual	39	Cortina	70	Vida útil de uma lâmpada (h)	101	Luz intrusa
12	Plano de trabalho	40	Muxarabi	71	Refletância [%]	102	Desordem (light clutter)
13	Ofuscamento/deslumbramento	41	Marquise (balanço)	3.2. Tipos de lâmpadas		103	Excesso de iluminação (over illumination)
14	Aparência da cor	42	Prateleira de luz	72	Incandescentes comuns	104	Brilho do céu (sky glow - sky glare)
15	Luminotécnica	43	Filtro sol-ar-luz	73	Incandescentes refletoras	3.6 Outros	
2. Iluminação Natural		44	veneziana	74	Incandescentes Halógenas	105	Sensor Fotoelétrico
2.1 Sol		45	varanda	75	Fluorescentes tubulares	106	Sensor de presença
16	Sol	46	sacada	76	Fluorescentes compactas	107	Programador de tempo ou minuteira
17	Norte verdadeiro	2.7 Iluminação zenital		77	Lâmpadas a Vapor de Mercúrio	108	Curvas isolux
18	Norte magnético	47	Iluminação zenital	78	Lâmpadas a Vapor de Sódio	109	Ângulo de abertura
19	Abóbada celeste	48	Coberturas Transparentes	79	Vapor metálico	4. Equipamentos	
20	Solstício de verão	49	Teto transparente	80	Vapor de sódio de baixa pressão	110	Luxímetro
21	Solstício de inverno	50	Átrio	81	Luz Mista	111	Luminancímetro
22	Equinócios	51	Shed (dente de serra)	82	Vapor de sódio de alta pressão	112	Carta solar
2.2 Iluminação lateral		52	Lanternim	83	Lâmpadas tipo LED - Light Emiting Diode	113	Heliodon/solarscópio
23	Iluminação lateral	53	Domo	3.3 Tipos de luminárias		114	Relógio solar
24	Janela	54	Claraboia	84	Luminária	5. Propriedades óticas dos materiais	
25	Pele de vidro/fachada cortina	55	Sistemas com espelho	85	Luminárias de teto (embutidas, sobrepor, pendentes, lustres)	115	Reflexão
26	Rosácea	56	Dutos de luz (edificação)	86	Luminárias de mesa (abajur e Luminárias de focos dirigíveis)	116	Absorção
27	Óculo	57	Poço de luz	87	Luminárias de chão	117	Transmissão
28	Mansarda	58	Iluminação com PET	88	Balizadores	118	Refração
2.3 fechamentos transparentes		2.8 Outros		3.4 Sistemas de iluminação			
29	Fechamentos transparentes	59	Fibra ótica	89	Luz de Destaque		
30	vidro	60	Painéis prismáticos	90	Luz de Efeito		

Tabela 2: Termos selecionados para o dicionário de conforto lumínico.

Fonte: Desenvolvido pelos autores (2023).

APÊNDICE B

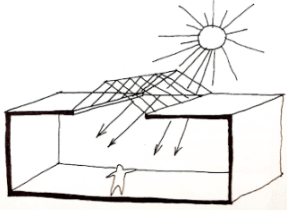
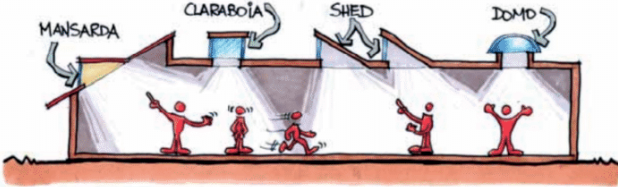
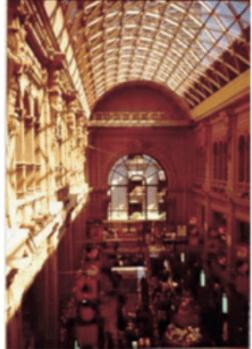
46	Iluminação zenital		
	Descrição/Citação direta	Referência	Página
	Porção de luz natural produzida pela luz que entra através dos fechamentos superiores dos espaços internos.	ABNT, 2005a.	3
	<p>Iluminação natural feita pelo telhado do edifício. Em geral decorre do uso de CLARABÓIAS, LANTERNINS, telhas ou PANOS de vidro. É indicada sobretudo para prédios de maior porte, impossibilitados de terem todos seus recintos ou ambientes iluminados por vãos de janelas ou edificações cujo uso dificulte a abertura de vãos nas paredes externas, como mercados, HANGARES e bibliotecas.</p> 	LIMA e ALBERNAZ, 1998a	310
	<p>Conceituada segundo a norma NBR 15215-1 (ABNT 2005b) como a <i>porção de luz natural produzida pela luz que entra através dos fechamentos superiores dos espaços internos</i>. A iluminação zenital tem duas principais vantagens sobre a iluminação lateral através de janelas: permite uma iluminação muito mais uniforme que a obtida com janelas e recebe muito mais luz natural ao longo do dia. A principal desvantagem é a dificuldade de proteger essas aberturas da radiação solar indesejável. Por esse motivo, é recomendado o uso da iluminação zenital através de vidros posicionados verticalmente, conforme o esquema seguinte (Figura 5-9)</p> 	LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014	158
	Iluminação natural obtida através de claraboias, domo, cúpulas ou clerestórios.	BROWN, 2009.	369
	<p>A iluminação natural zenital tem como uma de suas principais características uma maior uniformidade de distribuição da luz em relação à iluminação proveniente da lateral do edifício, uma vez que, em geral, as aberturas estão uniformemente distribuídas pela área de cobertura e suas projeções paralelas ao plano de utilização ou de trabalho (Figura 6.61). Outra característica relevante de distinção entre a iluminação zenital e a proveniente da lateral do edifício é a obtenção pela primeira de maiores níveis de iluminância sobre o plano de trabalho, devido ao fato de que, em geral, a iluminação zenital conta com o dobro de área iluminante de céu em relação às aberturas laterais (com exceção da tipologia de sheds).</p>  <p>Figura 6.61 Centro Borges: Shopping e Galeria, Buenos Aires. Fonte: Arqta. Joana Carla Soares Gonçalves.</p>	GONÇALVES; VIANNA; MOURA, 2011	186/187/189

Tabela 3: Exemplo de citação direta dos termos para o dicionário de conforto lumínico.
 Fonte: Desenvolvido pelos autores (2023).




<p>A iluminação zenital foi, e ainda é muito utilizada ao longo da história da Arquitetura em grandes espaços e átrios, atendendo com predominância às funções de circulação, estar, lazer e cultura, sendo que nestes casos, os aspectos de uniformidade e quantidade de luz não são os fatores mais determinantes na escolha desta estratégia, mas sim os efeitos da luz como instrumento fundamental da criação e valorização do espaço, principalmente em seus aspectos de monumentalidade.</p>  <p>Figuras 6.64 e 6.65: Pantheon, Roma - Cúpula (acima) e hall central (abaixo). Fonte: Fotos cedidas por Roberta Kronka, doutoranda da FAU/USP.</p>  <p>Figuras 6.66 e 6.67: Centro cultural Banco do Brasil, RJ. Cúpula (acima) e Hall central de convivência e exposição (abaixo). Fonte: Arqta. Joana Carla Soares Gonçalves.</p>  <p>Figuras 6.68 e 6.69: World Trade Center, Nova Iorque. Fonte: Arqta. Joana Carla Soares</p>		
--	--	--

Tabela 3: Exemplo de citação direta dos termos para o dicionário de conforto lumínico.
Fonte: Desenvolvido pelos autores (2023).

INITIAL DEVELOPMENT OF *Acacia mearnsii* ON SUBSTRATE CONTAINING BIOCHAR DERIVED FROM CHARCOAL FINES

DESENVOLVIMENTO INICIAL DE Acacia mearnsii EM SUBSTRATO CONTENDO BIOCARVÃO DERIVADO DE FINOS DE CARVÃO VEGETAL

DESARROLLO TEMPRANO DE Acacia mearnsii EN UN SUSTRATO QUE CONTIENE BIOCARBÓN DERIVADO DE FINOS DE CARBÓN VEGETAL

MARINA REMIÃO DOS SANTOS, Msc. | UNISINOS - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil.

IGOR GLAESER DA ROCHA | UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

JULIANO MORALES DE OLIVEIRA, Dr. | UNISINOS - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil.

GILSON SCHLINDWEIN, Dr. | SEAPI - Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária, Brasil.

CARLOS ALBERTO MENDES MORAES, Dr. | UNISINOS - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil.

GENYR KAPPLER, Dr. | UNISINOS - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil.

REGINA CÉLIA ESPINOSA MODOLO, Dra. | UNISINOS - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the cultivation performance using a substrate with addition of charcoal fines (CF). The methodology started with treatment of the CF in a mill to reduce the particle size to ≤ 2.5 mm mesh, to be later used to compose the treatments to be used in the substrate composition for *Acacia mearnsii* De Wild seedlings. The substrate used in the study for mixing was a commercial substrate based on peat, vermiculite, and limestone. For this, different ratios of substrate: CF mixture (100:0%, 95:5%, 75:25%, 50:50% and 25:75% (v:v)) were used. The analyzed parameters were density, pH, electrical conductivity, total content of soluble salts, water retention at 10, 50 and 100 hPa, total porosity, aeration space, easily available water and buffering water. The development of the species was evaluated based on phytometry, the parameters assessed were the number of leaves, height of the shoot, root length, fresh mass, and dry mass of the plant. The results showed that the substrate with CF presents different physical and chemical characteristics when compared to the substrate without CF, acting in a positive way for the development of the seedlings when added in a ratio of 95:5% (v:v).

KEYWORDS

Biomass; Pyrolysis; Growing media.

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi avaliar o desempenho de cultivo via substrato com adição de finos de carvão vegetal (FC). A metodologia consistiu em tratamento dos FC em moinho utilizando uma malha de 2,5 mm para ser utilizado na composição de substrato para mudas de *Acacia mearnsii* De Wild. O substrato utilizado no estudo para mistura foi um substrato comercial a base de turfa, vermiculita e calcário. Para isso, foram utilizadas diferentes proporções de mistura substrato/FC (100:0%, 95:5%, 75:25%, 50:50% e 25:75% (v:v)). Os parâmetros analisados foram: densidade, pH, condutividade elétrica, teor total de sais solúveis, retenção de água a 10, 50 e 100 hPa, porosidade total, espaço de



aeração, água facilmente disponível e água tamponante. O desenvolvimento da espécie foi avaliado com base na fitometria, sendo os parâmetros aferidos: o número de folhas, altura da parte aérea, comprimento da raiz, massa fresca e massa seca da planta. Os resultados demonstram que o substrato com FC altera as características físicas e químicas do mesmo, atuando de forma positiva para o desenvolvimento das mudas quando adicionado em uma relação de 5% em volume do subproduto em relação ao substrato.

PALAVRAS-CHAVE

Biomassa; Pirólise; Meio de cultivo.

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar el rendimiento del cultivo en sustrato con la adición de finos de carbón vegetal (CF). La metodología consistió en tratar el CF en un molino con malla de 2,5 mm para utilizarlo en la composición de un sustrato para plántulas de *Acacia mearnsii* De Wild. El sustrato utilizado en el estudio para la mezcla fue un sustrato comercial a base de turba, vermiculita y piedra caliza. Se utilizaron diferentes proporciones de sustrato/mezcla CF (100:0%, 95:5%, 75:25%, 50:50% y 25:75% (v:v)). Los parámetros analizados fueron: densidad, pH, conductividad eléctrica, contenido total de sales solubles, retención de agua a 10, 50 y 100 hPa, porosidad total, espacio de aireación, agua fácilmente disponible y agua tampón. El desarrollo de la especie se evaluó mediante fitometría, midiéndose los siguientes parámetros: número de hojas, altura de la parte aérea, longitud de la raíz, masa fresca y masa seca de la planta. Los resultados muestran que el sustrato con CF altera sus características físicas y químicas, actuando positivamente en el desarrollo de las plántulas cuando se añade en una proporción del 5% en volumen del subproducto en relación con el sustrato.

PALABRAS CLAVE

Biomasa; Pirólisis; Medio de cultivo.



1. INTRODUCTION

Brazil has the highest productivity rates of forest biomass from planted forests, totalizing 9.5 million hectares in 2021, of which 68.9% of the national production value is concentrated in the South and Southeast regions of the country. Charcoal occupies the second place in the ranking of forestry production values, which grew by about 21.8% compared to 2020. The state of Rio Grande do Sul was responsible for the production of 79.337 tons of charcoal in 2021 (IBGE, 2021). *A. mearnsii* is one of the species cultivated and it is used in the production process of charcoal, which is mainly used for energy purposes and as a raw material in other production chains. The charcoal production process consists in carbonizing the wood by heating it at 450°C to 550°C in an environment with a small amount or total exclusion of oxygen (PINHEIRO, 2006). At the end of this process, a by-product known as charcoal fines (CF) (or mill) is generated. This by-product consists of smaller charcoal particles that are retained after the beneficiation process and are not suitable for commercialization due to their granulometry, being often incorrectly disposed of. Studies show that after adequate processing several organic residues from industry can be used in agriculture in the form of biochar; in which its possible impacts have been observed regarding the chemical (GLASER et al., 2002) and physical (BLANCO-CANQUI, 2017) properties of the soil, the sequestration of carbon (C) and greenhouse gas emissions (LAIRD, 2008; WOOLF et al., 2010; BRASSARD et al., 2016; SMITH et al., 2010), the soil biota (LEHMANN et al., 2011; ELZOBAIR et al., 2016), among others. Thus, its application has been suggested to improve fertility and/or soil conditioning and promote plant growth (DING et al., 2016). The uses of biochar have also been investigated in substrate compositions for plant cultivation (HUANG & GU, 2019) in a wide variety of raw materials, such as wood (FASCELLA et al., (2020); YAN et al., (2020), coffee residue, corn cob, green composting residues (NOBILE et al., 2020), among other organic materials. Due to this wide variety of raw materials and combinations of biochar, experiments are necessary to better understand the production conditions required to meet the demands of the crop being cultivated (ENDERS et al., 2012).

Thus, the objectives of this study were (i) to evaluate the effects of the application of charcoal fines, a by-product generated in the charcoal industries (CF), in the physical and chemical parameters of a commercial growing medium and (ii) to evaluate the development of *A.*

mearnsii seedlings grown on substrate in the southern region of Brazil in a similar way to what is done with biochar.

2. MATERIALS AND METHODS

A commercial substrate based on peat, vermiculite and limestone was used in this study. This substrate was partially replaced by the by-product generated in the charcoal industry (CF) to compose the treatments. The byproduct in question was generated in the coalworking activity in a small charcoal industry that uses *A. mearnsii* wood as a raw material, and was produced at a temperature range of 450 to 600°C. To characterize the by-product used in this study, the following parameters were analyzed: pH (H₂O), electrical conductivity (EC) and laser diffraction granulometry. The analysis showed pH of 7.3, electrical conductivity of 0.15 dS/cm⁻¹ and granulometry through the laser diffraction method (predominance of fine particles average of 28.76 µm). The biochar derived from charcoal fines was fragmented in a knife mill and the material used in the experiment was the one that passed through the 2.5 mm mesh. Later, five treatments using different proportions of commercial substrate/charcoal fines (CF) (Table 1) were prepared.

Treatments	Proportions (volume:volume)
S ₁₀₀ C ₀	100% substrate: 0% Charcoal fines
S ₉₅ C ₅	95% substrate: 5% Charcoal fines
S ₇₅ C ₂₅	75% substrate: 25% Charcoal fines
S ₅₀ C ₅₀	50% substrate: 50% Charcoal fines
S ₂₅ C ₇₅	25% substrate: 75% Charcoal fines

Table 1: Volume ratio (%) of the peat, vermiculite and limestone substrate (S) mixed with the biochar (C) used to compose the treatments.

Source: Authors.

The wet density (WD) was determined based on the self-compaction method described by Hoffmann (1970). The values of total porosity (TP), aeration space (AS), easily available water (EAW) and buffering water (BW) were achieved by analyzing the water retention at 0, 10, 50 and 100 hPa, according to the tension table methodology described by Kiehl (1979). The granulometry of the mixtures was determined using Tyler sieves. The pH and electrical conductivity (EC) were determined according to the standard method (BRAZIL, 2007) and recommended by the International Society of Horticultural Sciences (UNE-EN 13037:2012) using the dilution of the extract in a ratio of 1:5 substrate: water (volume: volume). The total content of soluble salts (TCSS) was carried out using the method proposed by the Union of German Agricultural Research

Entities (VDLUFA) expressed as the KCl content in dilution of a suspension of substrate: deionized water, in the proportion 1:10 (weight: volume) (RÖBER AND SCHALLER, 1985). The treatments were set up on 50 cm³ polypropylene tubes, with fifteen replicates (number of tubes) for each treatment. Two seeds of *A. mearnsii* were sown at a depth of approximately 0.5 cm in each tube. Prior to sowing, to overcome dormancy, the seeds were immersed in water at 80°C for a period of 5 minutes, according to the methodology described by São José et al., (2019). In the cases where two seeds happened to germinate in one tube, one of them was removed. After seeding, the tubes were arranged in trays with high support, maintaining a block design, and packed in a Malgelsdorf germination chamber with a constant temperature of 25°C and with controlled luminosity and humidity until the germination of the seeds. For each tube, 10 ml of water was provided at the time of seeding and, as necessary, this volume of water was replenished during the experiment. After germination, the experiment was maintained in an uncontrolled laboratory environment. The development of the studied species was evaluated from the appearance of the first cotyledon according to the number of leaves (NL) and height of the shoot (HS), that corresponds to the length of the base of the stem to the apical yolk and was measured with the aid of a caliper one to three times a week for a period of 90 days in each treatment. After the cultivation period, the root length (RL) of the plants was evaluated and the fresh mass (FMP) and dry mass (DMP) of the plants were quantified. To obtain the dry mass, the plants were dried in an oven at 65°C ± 1 individually until they reached a constant mass, followed by weighing on a precision scale. Experimental data were submitted to the

Kolmogorov-Smirnov normality test and then analysis of variance (ANOVA) was performed to evaluate the effect of treatment on seedling development. When significant, the phytometry results were submitted to the Duncan test 5%. When the assumptions of normality and homogeneity of the data were not met, these data were transformed into $\sqrt{(x+k)}$ where the value of k=1 was used due to the presence of zeros in the counting matrix.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The results of the physical and chemical characteristics of the culture media are expressed in table 2. As for the wet density (WD) of the substrates showed a decrease as there was an increase in the amount of CF, ranging from 550 g L⁻¹ in the control to 400 g L⁻¹ in the treatment with higher concentration of CF. This reduction may be related to the lower density of the CF when compared to the substrate used at the time of the mixing, 300 g L⁻¹ respectively, and with its interaction with the substrate particles, due to the size of the particles. The application rate of the CF also influenced the dry density (DD) of the substrates, ranging from 189 g L⁻¹ to 323 g L⁻¹. Kämpf (2000) proposes an ideal value of DD considering the type of container to be used in cultivation. Considering the values proposed by Kämpf (2000), the treatments S₁₀₀C₀, S₉₅C₅, S₇₅C₂₅ and S₅₀C₅₀ are ideal for cultivation systems in multicellular trays. While treatment S₂₅C₇₅ is recommended for cultivation in pots up to 15 cm in height. This is because the low density of the substrates can cause plant fixation problems. Regarding the dry matter (DM) of the substrates, it ranged from 34 g 100g⁻¹ in the control to 80 g 100g⁻¹ in the treatment with the highest concentration of biochar.

Parameters	Treatments				
	S ₁₀₀ C ₀	S ₉₅ C ₅	S ₇₅ C ₂₅	S ₅₀ C ₅₀	S ₂₅ C ₇₅
WD (g L ⁻¹)	550	504	503	412	400
DD (g L ⁻¹)	191	189	247	271	323
DM (g 100g ⁻¹)	34	37	49	65	80
TP (%)	106	90	87	76	71
AS (%)	36	21	21	19	14
EAW (%)	27	28	24	14	10
BW (%)	3	3	3	3	4
pH (H ₂ O)	6.53	7.20	7.66	7.68	8.15
EC (dS/cm ⁻¹) *	0.32	0.21	0.21	0.22	0.23
TCSS (kg/m ³) **	0.91	0.62	0.67	0.64	0.58

* Extract dilution 1:5 substrate:water (volume:volume).

** Expressed as the KCl content in dilution of a substrate suspension: deionized water, in the ratio 1:10 (weight:volume).

Table 2: Physical parameters (wet density (WD), dry density (DD), dry matter (DM), total porosity (TP), aeration space (AS), easily available water (EAW) and buffering water (BW)) and chemical (pH value in water, electrical conductivity (CE) and soluble salt content (TCSS)) of the treatments using different proportions in volume of commercial substrate and charcoal. These are: 100:0% (S₁₀₀C₀), 95:5% (S₉₅C₅), 75:25% (S₇₅C₂₅), 50:50% (S₅₀C₅₀) and 25:75% (S₂₅C₇₅).

Source: Authors.

The total porosity (TP) of the substrate was reduced due to the increase in the ratio of CF in the substrate, ranging from 106% (control treatment) to 71% (treatment with the highest concentration of CF). Nonetheless, the obtained values are still close to the ideal value proposed by De Boodt and Verdonck (1972) of 85%. The aeration space (AS) also showed a significant decrease in the treatments with higher percentage of CF, ranging from 36% (control) to 14% (treatment with higher concentration of CF). These findings regarding TP and EA are consistent with those observed by Monteiro et al., 2021, where the authors verified a linear reduction of these parameters by adding biocarbon from anaerobic sewage sludge to the commercial substrate. However, they differ from the data obtained by Yan et al., (2020), who observed an increase

in aeration space and porosity with the addition of biochar. This difference may be related to the variation in the particle size of the CF and the characteristics of the culture medium used in this experiment, with an average of 28.76 μm while in the experiment carried out by Yan et al., (2020) about 67.3% of the biochar particles were greater than 2 mm. Thus, in this study, only the S95C5 and S75C25 treatments are in the ideal range of 20 to 30% proposed by De Boodt and Verdonck (1972). Therefore, the possibility of adjusting the size of the CF particles to provide an aeration space (AS) closer to the ideal for the cultivation of seedlings needs to be verified.

The particle size analysis showed that an increase in the CF application rate results in decreasing percentages of the particle size of the substrates (Figure 1).

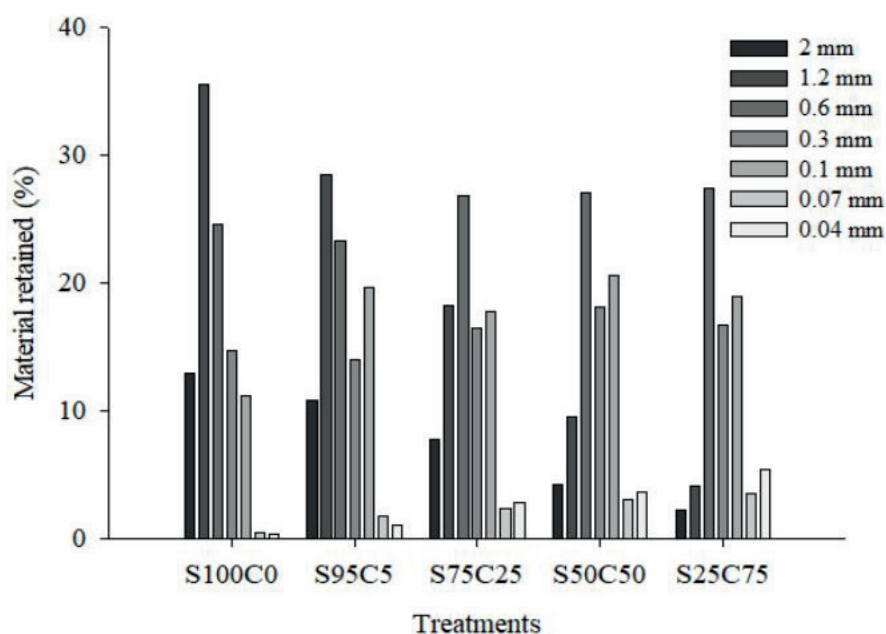


Figure 1: Particle size analysis of the substrates used for sowing with different proportions of commercial substrate/CF. [100:0% (S100C0), 95:5% (S95C5), 75:25% (S75C25), 50:50% (S50C50) and 25:75% (S25C75) (v:v)]. The average opening diameter of the sieves used in the granulometry evaluation is shown on the right of the graph.
Source: Authors.

As for easily available water (EAW), a decrease could be observed as the amount of CF in the treatments increased, except for treatment S95C5, which showed an increase of 1% compared to treatment S100C0 (control). This parameter ranged from 27% in the control treatment to 10% in the S25C75 treatment. The buffering water content (BW) did not vary between treatments (3%), apart from treatment S25C75, that showed an increase of 1% when compared to the other treatments, but still not statistically differing from the others. The results of the water retention analysis indicate that the higher the addition of CF, the lower the availability of water for the plants under cultivation.

The pH values (H₂O) of the growing media increased

in all treatments as there was an increase in CF, ranging from 6.53 to 8.15. Thus, apart from the commercial substrate, the other treatments with CF addition presented pH values above what is recommended for most crops what can act as a limiting factor for the development of some plant species (WALLER & WILSON, 1984; BAILEY et al., 2005). The observed increase in the pH corroborates the data obtained by Fascella et al., (2020) and Yan et al., (2020) who, working with wood-derived biochar, observed an increase in substrate pH at increasing rates of biochar.

In a study carried out by Nobile et al., (2020), using different residues in the production of biochar, the authors also observed that all substrates had an alkaline

pH between 7.9 and 11.4, positively correlating with the culture medium after its application. Thus, when used in mixtures with neutral pH substrates, it is recommended to use CF in smaller proportions, or correcting the pH of the mixture. Its alkaline characteristic indicates that this biochar could also be used as a corrective for acidic pH substrates. However, Fascella et al., (2020) observed an increase in the electrical conductivity of the substrates as the concentration of biochar increases, which can become a limiting factor for the development of certain crops if used in large quantities. In this research, a decrease in electrical conductivity was observed with the application

of CF, when compared to the control used. The salinity of the substrate, evaluated through the total content of soluble salts (TCSS), showed a decrease according to the addition of CF, ranging from 0.91 kg/m³ (control) to 0.58 kg/m³. Thus, according to the classification proposed by Röber and Schaller (1985), the substrates of this study can be classified as low salinity (<1.0 kg/m³), presenting no limitations of use as culture medium regarding this parameter.

The results regarding the effect of the application of CF to the culture medium on the growth and initial development of *A. mearnsii* seedlings are shown in table 3.

Treatment	NL	HS (cm)	RL (cm)	FMP (g)	DMP (g)
S ₁₀₀ C ₀	2 ns	4.93 b	3.71 b	0.020 c	0.007 b
S ₉₅ C ₅	3	8.12 a	9.20 a	0.090 a	0.023 a
S ₇₅ C ₂₅	2	5.29 b	6.66 a	0.063 ab	0.014 b
S ₅₀ C ₅₀	3	7.09 ab	8.33 a	0.052 b	0.014 b
S ₂₅ C ₇₅	2	4.95 b	6.50 a	0.037 bc	0.010 b
CV%	23.46	43.20	30.65	1.98	0.46

Table 3: Growth of *A. mearnsii* cultivated on charcoal-based substrates and commercial substrates. Main parameters and respective abbreviations: Number of leaves (NL), root length (RL), height of the shoot (HS), fresh mass of the plant (FMP) and dry mass (MSP) of the plant. Means followed by the same lower-case letter in the column do not differ by Duncan test at 5% probability.

Source: Authors.

It was possible to verify that the addition of CF to the culture medium significantly influenced the initial development of *A. mearnsii*, except for the number of leaves [F (4.70) = 1.665; p>0.05], which ranged from 2 to 4 leaves between treatments at the end of the evaluation period (90-day).

As for the other parameters evaluated, the height of the shoot of the seedlings (HS) was influenced by the different proportions of CF added to the culture medium [F (4.70) = 2.934; p<0.05], where the treatment with 5% volume of CF presented the highest average, of 8.12 cm in height, compared to the other treatments at the end of the experiment. The addition of CF also influenced the root length (RL) of the seedlings [F (4.70) = 5.162; p<0.05]. The treatment with 5% volume of CF also showed the best result in relation to the other treatments with the highest proportion of CF. Concerning the fresh mass of the seedling, there was an influence of the rate of application of CF [F (4.70) = 6.061; p<0.05], and, in general, substrates containing CF increased the fresh mass when compared to the control, ranging from 0.020 to 0.090 g. The highest value was found in treatment S₉₅C₅, and the lowest values were observed in treatments S₁₀₀C₀ and S₂₅C₇₅. The application of CF also influenced the dry mass of the seedlings [F (4.70) = 6.586; p<0.05], where treatment S₉₅C₅ presented the best result (0.23 g), and again, differing from the treatment without CF (0.007 g). Therefore,

the treatment using a substrate: CF ratio of 95:5% by volume presented the highest averages in relation to the other treatments in all parameters evaluated, even outstanding the control treatment (without CF application). These results indicate that the application of 5% in volume of CF to the substrate may promote a better development of the cultivated seedlings. However, in larger proportions, CF may negatively influence the development of seedling (figure 2). It is assumed that this result occurs because the physicochemical properties of the seedlings are outside the ideal range for the growth of the seedlings, especially the pH values, resulting in reduced growth of the species and lower biomass production that can be attributed to a sensitivity of the species to a higher pH (alkaline). While in this study the suggested dose is 5% of biochar, Monteiro et al., (2021) when incorporating biochar from anaerobic sewage sludge to the commercial substrate for seedling production of *A. mearnsii* suggested an application of biochar around 45-50%. According to the authors, it was observed that increasing proportions of biochar influenced the properties of the substrate and consequently the development of *A. mearnsii* seedlings that is conditioned mainly with the hydraulic properties of the substrate and concentrations greater than 50% of biochar led to a reduction in the performance of the substrate-plant system.

According to Nobile et al., (2020), the physical and chemical properties of biochar from six different raw

materials to vegetable crop biomass, it is clear that the effectiveness of biochar in the growing medium depends on both the species being grown and the properties of the biochar.

Álvarez et al., (2018) also obtained positive results working on the partial replacement of a peat-based substrate with biochar derived from *Pinus sp* wood in mixture with vermicompost. These authors concluded that biochar and vermicompost in mixture can be used in the cultivation of petunia and geranium, in doses of up to 12% of biochar and 30% of vermicompost respectively.

In contrast, the results found by Fascella et al. (2020), suggest that biochar derived from coniferous wood waste could be used even at high rates (above 50%) as a substrate component for production of *Lavandula angustifolia* seedlings as it does not negatively affect seedling development.

In a study conducted by Nieto et al., (2016), biochar

derived from pruning waste in mixture with peat at rates of 50 and 75% caused an increase in the biomass and yield of lettuce compared to the use of peat alone. However, the commercial charcoal used did not have the same effect, reducing the dry biomass of the crop compared to using peat-based substrate alone. This fact can be attributed to the high dosages used by the authors (50 and 75%) which resulted in an increase in pH and a reduction in total porosity and water holding capacity, as observed in this study. Whereas Yan et al., (2020) reported that wood-derived biochar in mixture with a commercial peat-based substrate can be used in mint cultivation up to 80% (volume) without any negative effects on plant growth.

Thus, it is necessary to understand the properties of the biochar used and the crop to be grown because the concentration is variable as shown in previous studies for each specie.



Figure 2: A. *mearnsii* seedlings obtained at the end of the experiment in block 1 (A), block 2 (B) and block 3 (C) produced in substrates with different concentrations of biochar: 100:0% , 95:5%, 75:5%, 50:50% and 25:75% (volume:volume). The treatments are displayed in order from left to right.

Source: Authors.

4. CONCLUSION

The research developed shows that CF has the potential for partial replacement of the peat-based cultivation medium in the cultivation of *A. mearnsii* when applied to a proportion of 5% (in volume) acting positively for the development of seedlings, improving the growth rate of the cultivated plant. However, this study also shows that CF alters the physical and chemical characteristics of the final material used as a substrate as its proportion increases with particle sizes up to 2.5 mm, especially parameters such as pH, porous space, and water availability. In this experiment, where tests with higher concentrations of the by-product were employed, there was a visible influence of CF in reducing the performance of the substrate-plant

system, which may be related to the increase in the pH. Therefore, the addition of CF to the substrate in large proportions can only be achieved if its physical and chemical properties are within the ideal range of the substrate to be used as a culture medium to produce seedlings. A larger granulometry may be indicated to provide greater porosity and aeration space to the substrate. The results seek to encourage the exploitation of biochar derived from the by-product of charcoal industries in the production of seedlings in nurseries using more sustainable ways, since it presents both economic and environmental benefits, as well as encourage the circular economy in the charcoal production sector and transform an industrial waste into a value-added product for strategic applications in the agricultural sector.

REFERENCES

- Álvarez JM, Pasian C, Lal R, López R, Díaz MJ, Fernández M. (2018) Morpho-physiological plant quality when biochar and vermicompost are used as growing media replacement in urban horticulture. **Urban For Urban Green**.34:175-80.
- Bailey, D. A., Nelson, P. V., & Fonteno, W. C. (2005). **Substrate pH and Water Quality**. Raleigh: North Carolina State University.
- Blanco-Canqui H. (2017). Biochar and Soil Physical Properties. **Soil Science Society of America Journal**. 81:687-711.
- BRASIL. Ministry of Agriculture, Livestock and Supply - MAPA Secretariat of Agricultural Defense. Normative Instruction No. 17, of May 21, 2007. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**.1:8).
- Brassard P, Godbout S, Raghavan V. (2016). Soil biochar amendment as a climate change mitigation tool: Key parameters and mechanisms involved. **Journal of Environmental Management**. 181:484-97.
- De Boodt, M., & Verdonck, O. (1972). The physical properties of the substrates in horticulture. **Acta Horticulturae**, 26:37-44.
- Ding Y, Liu Y, Liu S, Li Z, Tan X, Huang X, Zeng G, Zhou L, Zheng B. (2016) Biochar to improve soil fertility. A review. **Agronomy for Sustainable Development**.36:1-18.
- Elzobair KA, Stromberger ME, Ippolito JA, Lentz RD. (2015). Contrasting effects of biochar versus manure on soil microbial communities and enzyme activities in an Aridisol. **Chemosphere**. 142:145-52.
- Enders A, Hanley K, Whitman T, Joseph S, Lehmann J. (2012). Characterization of biochars to evaluate recalcitrance and agronomic performance. **Bioresource Technology**. 114:644-53.
- Fascella G, D'Angiolillo F, Ruberto G, Napoli E. (2020). Agronomic performance, essential oils and hydrodistillation wastewaters of *Lavandula angustifolia* grown on biochar-based substrates. **Industrial Crops and Products**. 154:112-133.
- Glaser B, Lehmann J, Zech W. (2002). Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal - A review. **Biology and Fertility of Soils**. 35:219-30.
- Hoffmann, G. (1970). Verbindliche Methoden zur Untersuchung von TKS und Gartnerischen Erden. Mitteilubngen der VDLUFA. **Heft**. 6: 129-153.
- Huang L, Gu M. (2019). Effects of biochar on container substrate properties and growth of plants—a review. **Horticulture**. 5:1-25.
- IBGE. (2021). **Production of Plant Extraction and Silviculture**. Rio de Janeiro. 36.
- Kämpf, A. N. **Commercial Production of Ornamental Plants**. (2000). Guaíba. Agricultural.
- Kiehl, E. J. (1979). **Manual of Edaphobiology**: Soil-plant relations. São Paulo. Ceres
- Laird DA. (2008). The Charcoal Vision: A Win-Win-Win Scenario for Simultaneously Producing Bioenergy, Permanently Sequestering Carbon, while Improving Soil and Water Quality. **Agronomy Journal**. 100:178-81.
- Lehmann J, Rillig MC, Thies J, Masiello CA, Hockaday WC, Crowley D. (2011). Biochar effects on soil biota - A review. **Soil Biology & Biochemistry**. 43:1812-36.
- Monteiro AB, Bamberg AL, Pereira IDS, Stöcker CM, Timm LC. (2021). Agronomic performance and optimal ranges of attributes of substrates with biochar from anaerobic sewage sludge for black wattle (*Acacia mearnsii*) seedlings. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**. 10:297-308.
- Nieto A, Gascó G, Paz-Ferreiro J, Fernández JM, Plaza C, Méndez A. (2016) The effect of pruning waste and biochar addition on brown peat based growing media properties. **Scientia Horticulturae** (Amsterdam). 199:142-8.
- Nobile C, Denier J, Houben D. (2020) Linking biochar properties to biomass of basil, lettuce and pansy cultivated in growing media. **Scientia Horticulturae** (Amsterdam).261.
- Pinheiro, P.C.C.; Sampaio, R.S.; Rezende, M.E.A.; Viana, E.A. (2006) **The production of charcoal**: theory and practice.

Belo Horizonte.

Röber, R., Schaller, K. (1985). **Pflanzenernahrung im gartenbau**. Stuttgart Ulmer.

São José JFB, Volpiano CG, Vargas LK, Hernandez MAS, Lisboa BB, Schlindwein G, Beneduzi A, Longoni LS, Sampaio Jat. (2019). Influence of hot water on breaking painmancy, incubation temperature and rhizobial inoculation on germination of *Acacia mearnsii* seeds. **Australian Forestry**. 82:157-61.

Smith JL, Collins HP, Bailey VL. (2010). The effect of young biochar on soil respiration. **Soil Biology & Biochemistry**. 42:2345-7.

UNE - Asociación Española de Normalización. Standard EN 13037. **Mejoradores del suelo y medios de cultivation**. La determinación del pH. Bruxelles: Comité Europeén de Normalisation, 2012.

Waller, P. L.; Wilson, G. C. S. (1984). Evaluation of growing media for consumer use. **Acta Horticulturae**. 150:51-58.

Woolf D, Amonette JE, Street-Perrott FA, Lehmann J, Joseph S. (2010). Sustainable biochar to mitigate global climate change. **Nature Communications**. 1-1-9.

Yan J, Yu P, Liu C, Li Q, Gu M. (2020) **Replacing peat moss with mixed hardwood biochar as container substrates to produce five types of mint (*Mentha spp.*)**. Industrial Crops and Products.

ACKNOWLEDGEMENT

Authors thanks to CNPq for research grants PQ2 and DT2 and thank the staff of the Seed Technology Laboratory and Substrate Analysis Laboratory for Plants (DDPA/SEAPI), for assistance in the tests.

AUTHORS

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1272-6936>
MARINA REMIÃO DOS SANTOS, MESTRE. | Universidade do vale do rio do Sinos | Programa de pós-graduação em Biologia | São Leopoldo - RS, Brasil | CORRESPONDÊNCIA PARA: Av. Unisinos 950, bairro Cristo Rei, São Leopoldo - RS, Cep.: 93.022-750 | Email: marinaremiao@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6131-9969>

IGOR GLAESER DA ROCHA, BACHAREL. | Universidade Federal do Rio Grande do Sul | Faculdade de Agronomia | Porto Alegre - RS, Brasil | CORRESPONDÊNCIA PARA: Rua Prof. Antônio C. Barreto Viana, 132, bairro centro, Viamão - RS, cep: 94410210 | Email: igorglaeser@yahoo.com.br

ORCID: 0000-0003-2834-852X

JULIANO MORALES DE OLIVEIRA, DOUTOR. | Universidade Federal do Rio Grande do Sul | Programa de Pós-graduação em Ecologia | Porto Alegre - RS, Brasil | CORRESPONDÊNCIA PARA: Av. Unisinos 950 - Cristo Rei, São Leopoldo - RS, 93022.750 | Email: julianooliveira@unisinos.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8994-212X>

GILSON SCHLINDWEIN, DOUTOR. | Universidade Federal do Rio Grande do Sul | Programa de Pós-graduação em Ecologia | Porto Alegre - RS, Brasil | CORRESPONDÊNCIA PARA: Rua Artur de Oliveira, 259 - Partenon, Porto Alegre - RS, 915030-100 | Email: gilson-schlindwein@agricultura.rs.gov.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7295-2826>

CARLOS ALBERTO MENDES MORAES, DOUTOR. | Universidade do Vale do Rio dos Sinos | Programa de Pós-Graduação em Engenharia civil | São Leopoldo, RS, Brasil | CORRESPONDÊNCIA PARA: Estrada dos Alpes, 2345, casa 85, Porto Alegre, RS, 91720120 | Email: cmoraes@unisinos.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7685-633X>

GENYR KAPPLER, DOUTORA. | Universidade do Vale do Rio dos Sinos | Programa de Pós-Graduação em Engenharia civil | São Leopoldo, RS, Brasil | CORRESPONDÊNCIA PARA: Rua Rudolfo Feltes, 131, Colina Deuner, Campo Bom, RS, CEP 93700-000 | Email: Genyr.kappler@ua.pt

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7088-2502>

REGINA CÉLIA ESPINOSA MODOLO, DOUTORA. | Universidade do vale do rio do Sinos | Programas de pós-graduação em Engenharia civil e engenharia mecânica | São Leopoldo RS, Brasil | CORRESPONDÊNCIA PARA: Av. Unisinos 950, bairro Cristo Rei. São Leopoldo, RS, Cep.: 93.022-750 | Email: reginaem@unisinos.br

HOW TO CITE THIS ARTICLE

SANTOS, Marina Remião dos; ROCHA, Igor Glaeser da; SCHLINDWEIN, Gilson; OLIVEIRA, Juliano Morales de; MORAES, Carlos Alberto Mendes; KAPPLER, Genyr; MODOLO, Regina Célia Espinosa. Initial development of *Acacia Mearnsii* on substrate containing biochar derived from charcoal fines. **MIX Sustentável**, v. 9, n. 5, p. 115-124, 2023. ISSN 244-73073. Available in: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Access in: DD/MM/YYYY doi: <<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n5.115-124>>.

SUBJECTED IN: 06/06/2023

ACCEPTED IN: 15/09/2023

PUBLISHED IN: 30/10/2023

RESPONSIBLE EDITOR: Lisiane Ilha Librelotto e Paulo Cesar Machado Ferroli

Record of authorship contribution:

CRedit Taxonomy (<http://credit.niso.org/>)

MRS: Conceptualization, data curation, formal analysis, investigation, methodology, validation, visualization, writing – original draft, Writing – review & editing.

IGR: Conceptualization, data curation, formal analysis, investigation, methodology, validation, visualization, writing – original draft and writing – review & editing.

JMO: Writing – original draft and writing – review & editing.

GS: Conceptualization, data curation, formal analysis, investigation, methodology, project administration, supervision, validation, visualization, writing – original draft and writing – review & editing.

CAMM: Conceptualization, supervision, writing – original draft and writing – review & editing.

GK: Writing – review & editing.

RCEM: Conceptualization, data curation, methodology, project administration, funding acquisition, supervision, validation, visualization, writing – original draft and Writing – review & editing.

Conflict declaration: nothing has been declared.

BIOMASSA COMO MATÉRIA-PRIMA RENOVÁVEL: OBSTÁCULOS PARA UTILIZAÇÃO

BIOMASS AS A RENEWABLE RAW MATERIAL: OBSTACLES TO ITS USE

LA BIOMASA COMO MATERIA PRIMA RENOVABLE: OBSTÁCULOS PARA SU USO

MARIANA MENONCIN | UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil

IGOR CÉSAR ROSA SILVA, Me. | UERJ - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

FERNANDA RAMOS ASSOLARI | UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil

UGO LEANDRO BELINI, Dr. | UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil

RESUMO

Em um cenário crescente onde há preocupação com o uso de biomassa como matéria-prima de novos produtos, nem tudo é perfeito, existem os desafios científicos, técnicos e econômicos, que, muitas vezes, dificultam o progresso do projeto. É preciso apontar esses desafios. Embora seja notório o potencial do Brasil para o uso de biomassa como matéria-prima de novos produtos, este artigo tem o objetivo de apresentar uma síntese de possíveis desafios e limitações encontradas para a sua utilização. Utilizou-se como método científico a revisão bibliográfica em artigos, dissertações, teses e portais de pesquisas de empresas públicas, para analisar as informações sobre as limitações no uso de biomassa em produtos reconstituídos. A revisão da literatura permitiu considerar os desafios e limitações para a utilização de biomassa reconstituída. Nesse sentido, é necessário que o tópico seja abordado a fim de contribuir para possíveis construções científicas, atentando para os tipos de desafios, limitações e regulamentações. Alcançou-se como resultados a apresentação dos desafios, que devem ser analisados a fim de preencher essa lacuna ao desenvolver novos produtos de biomassa reconstituída. Os resultados apresentados contribuem para um melhor planejamento e gestão ao desenvolver e utilizar-se de biomassa como matéria-prima.

PALAVRAS-CHAVE

Desafios; limitações técnicas; biomassa.

ABSTRACT

In a growing scenario where there is concern about the use of biomass as raw material for new products, not everything is perfect, there are scientific, technical, and economic challenges, which often hinder the progress of the project. These challenges need to be pointed out. Although Brazil's potential for the use of biomass as a raw material for new products is notorious, this article aims to present a summary of possible challenges and limitations found for its use. A bibliographical review of articles, dissertations, theses, and research portals of public companies was used as a scientific method, to analyze information about limitations in the use of biomass in reconstituted products. The literature review allowed considering the challenges and limitations of the use of reconstituted biomass. In this sense, it is necessary that the topic be addressed in order to contribute to possible scientific constructions, paying attention to the types of challenges, limitations, and regulations. As a result, the presentation of challenges was achieved, which must be analyzed in order to fill this gap when developing new products from reconstituted biomass. The presented results contribute to better planning and management when developing and using biomass as a raw material.

KEYWORDS

Challenges; technical limitations; biomass.



RESUMEN

En un escenario creciente donde existe preocupación por el uso de biomasa como materia prima para nuevos productos, no todo es perfecto, existen desafíos científicos, técnicos y económicos, que muchas veces obstaculizan el avance del proyecto. Es necesario destacar estos desafíos. Si bien el potencial de Brasil para utilizar biomasa como materia prima para nuevos productos es bien conocido, este artículo tiene como objetivo presentar una síntesis de los posibles desafíos y limitaciones encontradas en su uso. El método científico fue la revisión bibliográfica de artículos, disertaciones, tesis y portales de investigación de empresas públicas, para analizar información sobre las limitaciones en el uso de biomasa en productos reconstituidos. La revisión de la literatura nos permitió considerar los desafíos y limitaciones para el uso de biomasa reconstituida. En este sentido, es necesario que el tema a abordar contribuya a posibles construcciones científicas, atendiendo a los tipos de desafíos, limitaciones y regulaciones. Los resultados fueron la presentación de desafíos, que deben ser analizados para llenar este vacío en el desarrollo de nuevos productos de biomasa reconstituida. Los resultados presentados contribuyen a una mejor planificación y gestión a la hora de desarrollar y utilizar la biomasa como materia prima.

PALABRAS CLAVE

Residuos; reducción; reutilización; reciclaje; construcción civil.

1. INTRODUÇÃO

Cada vez mais se divulga o potencial do Brasil para o uso de biomassa como matéria-prima no desenvolvimento de novos produtos, visando práticas mais sustentáveis que envolvam tecnologias mais limpas. A biomassa vegetal, portanto, é definida pela EMBRAPA como “um produto direto da fotossíntese, por meio da qual o gás carbônico (CO₂) é convertido em açúcares, os quais, posteriormente, são convertidos nos polímeros estruturais amido, celulose, hemicelulose e lignina” (EMBRAPA, 2013, p.17).

Atualmente, ainda existem dois meios principais de utilização da biomassa no Brasil. Na forma mais tradicional, como fonte de energia por meio da combustão e em processos mais tecnológicos que envolvem a conversão dessa biomassa, por exemplo, para biocombustíveis (Moraes, et al., 2017). Além disso, a biomassa também pode ser destinada para a produção de novos produtos de design industrial ou engenharia.

Nesse cenário, nem tudo é perfeito, existem os desafios científicos, técnicos e econômicos, que, muitas vezes, dificultam o progresso do projeto. É preciso apontar esses desafios. A EMBRAPA (2013, pp.177-178) lista os desafios como segue:

- a) Desafios científicos: que envolve a criação de ambientes acadêmicos e industriais propícios para o desenvolvimento de mão de obra especializada, envolvendo formação e qualificação ao nível técnico, de graduação, de especialização, de mestrado, de doutorado e de pós-doutorado. Isso demanda uma visão estratégica do setor público e da iniciativa privada, com uma parceria constante;
- b) Desafios técnicos: que envolve o desenvolvimento ou a melhoria de tecnologias que permitam o escalonamento dos processos desenvolvidos em laboratório, como métodos de separação, otimização de processos, eficiência energética, entre outros. Assim como melhorias e inovações dos processos já existentes;
- c) Desafios econômicos: projetos industriais geralmente têm que captar recursos dentro ou fora de suas organizações, como agências de financiamento, por exemplo, o BNDES em parceria com investidores privados. Quanto a capacitação de recursos junto a instituições de fomento como o CNPq e Fundações Estaduais de Apoio a Pesquisa, a descontinuidade na aplicação de orçamentos e o atraso na liberação de recursos que são os maiores entraves para execução dos projetos.

A implementação e estudos de processos mais sustentáveis e economicamente viáveis é um dos fatores que precisam ser explorados com mais profundidade quando o assunto é biomassa para produtos reconstituídos. Pois esses produtos, além de oferecerem alternativas com menor impacto ambiental, também podem ajudar a reduzir a utilização de outros produtos e materiais de fontes não renováveis (Moraes, et al., 2017). O emprego desses produtos alternativos procura minimizar os impactos negativos associados aos produtos convencionais, assim tornam-se uma opção ecologicamente adequada (Sanjay et al., 2018). Além de impulsionar o desenvolvimento sustentável do país, possibilita a geração de empregos verdes e a preservação ambiental.

Há uma conscientização individual e coletiva da população sendo construída, isso representa um processo longo, mas com sinais de vida e vontade de mudanças quando o assunto são os cuidados com o meio ambiente. A crescente preocupação com os impactos das ações humanas no planeta impulsiona a busca por estilos de vida mais sustentáveis e a demanda por políticas e práticas que promovam a preservação ambiental aumenta (Khatibi et al., 2021; Gifford et al., 2009; Matos et al., 2022).

Em artigos e outras publicações, nota-se que a utilização de materiais naturais, como fibras vegetais, que em sua grande maioria são descartadas como resíduos de processos industriais, estão sendo reaproveitadas para a criação de um novo produto buscando novas possibilidades de utilização e reutilização (Dungari et al., 2015). Visando a alternativa referente ao aproveitamento de fibras vegetais, como juta, sisal, coco, bambu, entre outras, o qual não reduz somente o desperdício de materiais residuários, mas também oferece uma alternativa sustentável a alguns produtos convencionais. Tendo potencial para aplicações em setores da construção civil, têxtil, embalagens e muitos outros (Jagadeesh et al., 2022; Ashik & Sharma, 2015).

Vários estudos e projetos demonstram o interesse em promover uma economia circular e a busca por soluções inovadoras que valorizem e aproveitem de forma sustentável os recursos naturais disponíveis. Portanto, esse artigo de revisão bibliográfica visa a apresentação do potencial da biomassa, principalmente os resíduos, como matéria-prima para produtos reconstituídos. São apresentados estudos que evidenciam os benefícios socioeconômicos e ambientais, mas também são discutidos os desafios científicos, técnicos e econômicos do desenvolvimento e aplicação dessas novas tecnologias.

2. MÉTODOS

A metodologia de pesquisa utilizada neste artigo é classificada como qualitativa e emprega métodos de uma busca sistemática e crítica da literatura existente sobre o tema, a avaliação da qualidade metodológica dos estudos selecionados e uma síntese clara e objetiva dos achados mais relevantes da literatura.

Os dados coletados por meio desta pesquisa são de natureza descritiva, visando fornecer a melhor descrição possível dos elementos existentes na realidade estudada (Prodanov & Freitas, 2013). A coleta de dados envolve a busca sistemática em bancos de dados de literatura científica, utilizando palavras-chave relevantes ao tema (Gil, 2008).

Para a busca por palavras-chave, foram inicialmente elencados alguns possíveis desafios para a consolidação da biomassa, e incluiu-se na pesquisa algumas biomassas de conhecimento dos autores. Na busca utilizando palavras-chave relacionadas a "BIOMASSAS", todas listadas na Tabela 01 foram buscadas individualmente, enquanto para os demais temas foram realizadas buscas combinadas das palavras-chave listadas em cada linha da tabela.

Desafio	Palavras-chave consideradas na busca
Falta de infraestrutura adequada	Biomass supply-chain; cleaner production; cleaner production evaluation;
Falta de padrões e regulamentos	Standards for cleaner production; Cleaner Production Agreement; biomass;
Custos elevados	Biomass development; biomass challenges; Cost challenges; Bottlenecks;
Falta de conscientização e interesse do público	Cleaner production opportunities; biomass opportunities; waste and biomass valorization;
Limitações técnicas	By-products biomass application; waste-to-value, biomass upcycling
Biomassas	Biomassa produtos reconstituídos; Biomassa "produtos reconstituídos"; Bagaço de Cana-de-Açúcar Mamona Painéis; Biomassa produtos reconstituídos painéis; Alternativas para painéis de madeira -energia; Painéis de bambu; Embalagem sustentável biomassa; Biomass alternative products -energy; Biomass alternative "high value products" -energy; biomass residues alternative high value products; green product development; green products automobile.

Tabela 01: Palavras-chave consideradas.
Fonte: Autores, 2023.

Devido à abrangência da pesquisa, entre os resultados, os artigos foram selecionados com base em seus resumos, conclusões e na relação destes com os desafios listados na Tabela 01. Os selecionados são apresentados e discutidos na seção de resultados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Existem vários estudos onde biomassas de diferentes fontes são utilizadas na produção de produtos reconstituídos. Os mais conhecidos e os mais presentes na pesquisa para esse artigo são os produtos reconstituídos de madeira, como, por exemplo, na produção de painéis. Existem muitos estudos relacionados à utilização de resíduos de madeira para produção de energia, mas nosso artigo não vai focar nessa aplicação. Os estudos envolvem espécies de reflorestamento e até o uso de resíduos urbanos madeireiros para a produção de painéis. Em sua grande maioria focam em tecnologias sustentáveis, mas também economicamente viáveis. Como exemplos, estudos de Trianoski et al., (2020) que trata da qualidade de juntas coladas de madeiras de várias espécies de eucalipto, estudos de Sá et al. (2012) que trata da análise da mistura de três espécies de reflorestamento na produção de painéis cimento-madeira, estudo de Ribaski & Belini (2019) que fala do Aproveitamento de resíduos sólidos urbano madeireiro, estudos de Bertolini (2011) que empregou resíduos de pinus na produção de chapas de particulados entre outros estudos.

Também, em relação a painéis, existem pesquisas que utilizam outras fontes de matérias-primas um exemplo é a utilização de bagaço de cana-de-açúcar com resinas a base de mamona (Sartori, 2012; Barrero, 2016; Barrero et al., 2016; Sugahara, 2018; Pozzer, 2019). Os objetivos, no geral, são o aproveitamento de matérias que são consideradas resíduos, com alta disponibilidade, principalmente na região sudeste do Brasil e apontam como resultados os benefícios econômicos e ambientais. O maior desafio dessas pesquisas, em geral, é atingir os padrões exigidos por NBRs, o que faz com que muitos desses estudos utilizem partículas ou fibras de madeira associadas com o bagaço da cana-de-açúcar e outros tipos de resinas, o que torna o resultado mais eficiente. Outro ponto a considerar é o uso dos painéis, os quais devem ser preparados pensando na degradação, desempenho e durabilidade (Barrero et al., 2016). A utilização desses painéis devido às propriedades mecânicas limitadas, são restritas a usos não estruturais e internos. Principalmente pela grande variedade de origem das fibras, diferentes tamanhos e a proporção e tipos de resinas

utilizadas. Sendo assim, investir em pesquisas é essencial para a otimização desses produtos (Figueiredo, 2020).

Na literatura, estudos mencionam outros tipos de matérias-primas para a produção de painéis, como o uso da casca de coco (Souza, 2020), bambu (Melo et al., 2015; Nogueira, 2008; Miskaro, 2009) bambu com casca de arroz e resina de mamona (Archangelo, 2016), bambu e cana-de-açúcar (Brito, 2018), bambu e casca de café (Araújo, 2015), bambu e casca de amendoim com resina de mamona (NASSER, 2016) e até mesmo um exemplo de incorporação de lodo de estação de tratamento de água em painéis de madeira aglomerada (Silva, et al., 2015) entre outros. Sendo o bambu, em muitos estudos, considerado alternativa de baixo custo para habitações sociais (Azambuja & Kawakami, 2015).

Muitos outros artigos apresentam estudos e projetos que utilizam biomassa oriundas de resíduos para variadas finalidades. Resíduos de fruto de açaí e ouriços de castanha do Pará para confecção de filtros para filtração de águas residuárias (Oliveira, 2021). Barbieri et al. (2013) afirmam que, na produção de tijolos de argila, há a possibilidade de utilizar materiais provenientes de resíduos de biomassa, tais como sementes de uvas e cerejas, serragem (para formação de poros) e cinza de cana-de-açúcar (como precursor de sílica), como alternativas para matérias-primas convencionais.

Gonçalves et al. (2017), em um estudo intitulado “Fibras vegetais: aspectos gerais, aproveitamento, inovação tecnológica e uso em compósitos”, os autores apontam benefícios nas aplicações dos materiais reconstituídos para a construção civil, a área médica com um sistema de entrega de medicamentos à base de fibras, e também para as indústrias do mobiliário e painéis acústicos, além de pesquisas em desenvolvimento com utilizando fibras naturais. Em um dos exemplos apresentados pelos autores, demonstram as potencialidades dos resíduos do caroço do açaí, para o aproveitamento e fabricação de novos materiais, sabendo que muitas vezes esses caroços são descartados de forma inadequada e despreparada. Essas fibras podem ser utilizadas no desenvolvimento de painéis ou mesmo compósitos reforçados (2018, p.5). Como resultado, há o reaproveitamento de materiais oriundos de fontes renováveis que contribui para minimizar os impactos negativos ao meio ambiente.

Em uma outra pesquisa, analisando a avaliação ambiental, econômica e social na produção de compósitos reforçados com o reaproveitamento de fibras vegetais, Silva et al. (2018, p.253) apresentam os benefícios ambientais a partir do resíduo gerado pela destinação inadequada do

coco verde ao escreverem “Avaliação ambiental, econômica e social de um novo compósito cimentício produzido com elevado teor fibra de coco tratada”. A fibra tratada foi estudada em um novo compósito cimentício para a construção civil, onde as vantagens são o fator renovável, baixo custo, produção sem poluição e possibilita a oportunidade do desenvolvimento agrícola sustentável.

Para a realização da pesquisa e apresentar os benefícios ambientais gerados, um dos métodos usados foi a Avaliação do Ciclo de Vida e a metodologia AMBIPEC/UESC adaptada por Valesco et al. (2014 apud Silva et al., 2018). O objetivo é avaliar os efeitos socioambientais dos resíduos agroflorestais, a partir dos resíduos. Essa metodologia envolve a seleção de indicadores e seus componentes, além da análise de dimensão ambiental e dos impactos sociais, importantes para o desempenho avaliativo do produto final.

Os autores demonstraram, através da utilização das fibras vegetais, que a produção de argamassa e concreto, bem como tijolos, contribui para a reciclagem, eficiência energética, a diminuição de resíduos considerados por alguns como lixo, e a redução na emissão de gases que causam o efeito estufa, gerando um aumento da qualidade de vida (Silva et al. 2018, p.264). A partir da avaliação ambiental, econômica e social que o compósito de fibra de coco tratada, concluem que, além de uma diminuição do impacto ambiental, observam-se vantagens que incluem a geração de empregos e distribuição de renda, o que torna a construção civil mais sustentável.

Resíduos sólidos provenientes de alimentos como o da produção de suco de maçã foram testados na produção de produtos de alto valor agregado, como, por exemplo, enzimas, ácidos e até biocombustíveis (Dhillon et al., 2013; Vásquez et al., 2019). Biomassa lignocelulósica destinadas à utilização como lignina, hemicelulose e celulose, obtidas por tratamentos como micro-ondas, ultrassom, fluido supercrítico, entre outros (Liu et al., 2019). Assim, usando biomassa para produtos de alto-valor com uma abordagem de desperdício zero (Arevalo-Gallegos, 2017).

Além de todos esses exemplos, ainda podemos citar a produção de roupas (Armstrong et al., 2015), embalagem sustentável (Correa, 2008; Galembeck et al., 2009; Cozzolino; Carvalho, 2022; Magnier; Schoormans, 2015), suprimentos sustentáveis para a indústria automobilística (Bhatia; Jakhar, 2021; Lin et al., 2014). Assim, afetando o design de produtos, como eco design, que foca na redução de impactos ambientais negativos causados por produtos e seu ciclo de vida, e eco produtos, que se refere ao design de materiais de fontes recicláveis focando a

eficiência energética e a redução da produção de resíduos (Charter & Tischner, 2017).

Em relação às embalagens sustentáveis, elas são sempre apontadas como um fator importante para a preservação do meio ambiente especialmente devido ao crescente problema dos microplásticos. (Guillard et al., 2018). As embalagens sustentáveis são uma solução promissora para reduzir a poluição causada pelos resíduos plásticos a fim de minimizar os riscos associados ao seu uso.

Quando falamos da indústria automobilística, podemos citar o eco design de componentes orgânicos, os quais são principalmente derivados da biomassa lignocelulósica (Lin et al., 2014). Esses materiais têm um alto potencial para substituir produtos de fontes fósseis, como, por exemplo, plásticos, polímeros, adesivos, tecidos de reforço, entre muitos outros. Alguns produtos já são amplamente usados nas indústrias automobilísticas, como bioplásticos do revestimento interno de portas e espumas à base de lignina (Prasanth et al., 2021).

Diversas pesquisas estão estruturadas em demonstrar os abundantes benefícios dos materiais desenvolvidos com a utilização de biomassas, os quais tem apresentado grandes resultados nas mais diversas áreas de atuação, como a reutilização de resíduos para obtenção de novos materiais com altos valores agregados. No entanto, como iremos apontar ao longo dos próximos tópicos desse artigo, existem as limitações e desafios a serem enfrentados, como as dificuldades econômicas e sociais, as restrições técnicas e as limitações logísticas. Essas limitações incluem os custos elevados, a falta de infraestrutura adequada, entre outros obstáculos.

3.1. Metodologias e regulações sobre esses produtos

Em muitos países existe a preocupação com a produção de biomassas, consideradas resíduos, principalmente as oriundas da agricultura e da produção de animais (Barbieri et al. 2013). A destinação desses produtos é de extrema importância, onde cerca de 80% sendo destinados a aterros sanitários e a incineração, que pode liberar gases de efeito estufa (Dhillon et al., 2013).

Um possível destino para a biomassa é a aplicação na produção de novos materiais, visando a redução de impacto ambiental, como é mostrado pelo contexto atual dos bioplásticos. De acordo com Coppola et al. (2021), o mercado de bioplásticos - um termo adotado para diferenciar polímeros originados de fontes renováveis, como a biomassa - corresponde a cerca de 1% do total de 370 milhões

de toneladas de plásticos produzidos no mundo, mas sua taxa de crescimento anual deve flutuar entre 30% até 2025.

Com o crescimento esperado para a demanda de bioplásticos, algumas normas já auxiliam na classificação e definição do que são estes materiais, e algumas têm aplicações a características específicas. Ainda assim, de acordo com Manger, (s.d.), não existem normas específicas na Europa, somente algumas diretrizes são encontradas em algumas legislações. A Tabela 02 mostra algumas normas neste contexto.

Status	Norma – Título Descrição
Revogada, sem substituição	ASTM D7081 - Standard Specification for Non-Floating Biodegradable Plastics in the Marine Environment (Withdrawn 2014) Especificação para degradabilidade marinha, aplicável a polímeros como os PHAs (polyhydroxyalkanoates), por exemplo.
Revogada, substituída pela EN 17228:2019	CEN/TS 16137:2011 - Plastics - Determination of bio-based carbon content Criada com base no método 14C, para determinação do conteúdo bio-baseado em carbono.
Ativa	ASTM 6866 - Standard Test Methods for Determining the Biobased Content of Solid, Liquid, and Gaseous Samples Using Radiocarbon Analysis Criada com base no método 14C, para determinação do conteúdo bio-baseado em carbono.
Ativa	DIN EN 13432 - Requirements for packaging recoverable through composting and biodegradation - Test scheme and evaluation criteria for the final acceptance of packaging; English version of DIN EN 13432 Especificação sobre compostabilidade.

Tabela 02: Normas e certificações aplicáveis a bioplásticos.

Fonte: adaptado de Coppola et al (2021), CEN/TS 16137 (s.d.), *Standard Test Methods for Determining the Biobased Content of Solid, Liquid, and Gaseous Samples Using Radiocarbon Analysis* (s.d.), *Standards*, (s.d.).

Wolf et al. (2005) traz várias contribuições para possíveis aplicações de bioplásticos na substituição dos plásticos comuns. Os autores apresentam dados de uma extensão revisão de literatura, buscando uma prospecção do horizonte de estudo até o ano de 2020, com a descrição de vários biopolímeros com características dos materiais e também de sua produção, histórico de desenvolvimento, obstáculos já conhecidos na consolidação, custos gerais e possíveis aplicações. Pode-se destacar este relatório técnico por fornecer um horizonte de aplicações dos materiais de maneira específica, possibilitando a consulta do mesmo como referência de exemplos ilustrativos,

com informações que as normas técnicas geralmente não apresentam.

Lora Grando et al. (2018) apresenta um panorama da legislação brasileira relacionada com a cadeia da biomassa, destacando que:

A principal desvantagem da atual estrutura regulatória para as atividades em bioeconomia é a insegurança jurídica, sendo preciso minimizá-la de modo que a estabilidade regulatória garanta uma constância de regras e o estabelecimento de conceitos não ambíguos, permitindo aos usuários do sistema (academia e empresas) antecipar o impacto e a legalidade de suas decisões, bem como facilitar o entendimento das ações públicas.

Grando et al. (2018, p. 24).

Dentre as legislações brasileiras citadas pelos autores, podemos destacar:

- Lei 10.165/00, que dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA);
- Lei de Propriedade Industrial (Lei 9.279/96);
- Lei de Cultivares (9.456/1997);
- Lei de Biossegurança (Lei 11.105/05);
- Política de Desenvolvimento da Biotecnologia (2007);
- Política Nacional de Resíduos Sólidos (12.305/2010), e;
- Lei de Acesso a Biodiversidade (13.123/2015);

Além da iniciativa existente da criação de Núcleo de Certificação de Produtos e Processos Limpos junto à Rede e a Escola brasileira de química verde (Grando et al., 2018).

3.2. Limitações técnicas

Há uma crescente demanda por utilização de fibras naturais no desenvolvimento de novos materiais como propostas de produtos com baixo impacto ambiental, fibras que em sua maioria são oriundas de resíduos provenientes da produção agrícola, sendo fundamentais para a realização de experimentos e produção de novos materiais compósitos, de produtos reconstituídos. Porém, algumas limitações são associadas à própria natureza do material, o que em alguns casos dificulta a aplicação em produtos cujas situações de uso são específicas, sendo necessários cada vez mais testes para se atingir um bom resultado.

Assim como no Brasil, em países da Europa, por exemplo, Portugal, também é percebido grandes pesquisas no uso de fibras vegetais sendo utilizadas como reforço em compósitos mais ecológicos, assim propagando alternativas mais sustentáveis na aplicação desses novos materiais para fins de design industrial, engenharia e arquitetura.

Castro (2013), ao defender a sua dissertação “Estudos e Caracterização Mecânica de Compósitos Reforçados com Fibras Naturais”, no Programa de Pós-Graduação em Materiais e Tecnologias de Fabrico do Instituto Superior de Engenharia do Porto, apresenta como objetivo de pesquisa, analisar as propriedades mecânicas de laminados de matriz termorrígida e com matriz termoplástica, reforçados com fibras de juta, com a realização de ensaios de tração e flexão.

Neste sentido Castro (2013, p.5) apresenta alguns resultados, onde evidencia as limitações técnicas a este tipo de produção:

- A fraca adesão na interface (principalmente com polímeros termoplásticos);
- Baixa resistência a temperatura;
- Em alguns casos as matrizes não permitem ser recicladas;

As limitações estão associadas também a algumas desvantagens na utilização das fibras naturais como reforço de materiais compósitos, como identificados pelo autor (2013, p.23):

- Geralmente possuem uma resistência mecânica inferior às fibras de vidro;
- Grande dispersão das propriedades, ou seja, uma qualidade não homogênea das fibras, dependente de muitos fatores;
- Em contato com a água, as fibras naturais apresentam: baixa resistência à absorção de água, alta absorção de umidade e baixa estabilidade dimensional;
- Fraca adesão na interface fibra-matriz que contribui também para um decréscimo das propriedades mecânicas;
- Baixa resistência térmica.

Em outra publicação, Real (2016) compartilha no 2º Encontro Nacional sobre Qualidade e Inovação na Construção, realizado em Lisboa, a abordagem “Biocompósitos: Uma alternativa mais sustentável para a construção”. O autor comenta que a indústria da

construção civil é ainda a que mais consome recursos naturais, e com isso, objetiva-se minimizar possíveis impactos ambientais provocados pelo processo de construção. E para dar uma destinação aos possíveis resíduos gerados, foi estudado o reaproveitamento na combinação de materiais menos impactantes para formulação de biocompósitos.

O autor sugere que o desempenho desses materiais reconstituídos reforçados com fibras carece de melhoramento para aplicações futuras para a construção civil. Ao trabalhar com biocompósitos, é percebido nas pesquisas que há vantagens significativas em substituição a materiais de fontes não renováveis e poluidoras, mas também possuem limitações que podem comprometer o desempenho do material. Sob esse aspecto é que Real (2016, pp. 6-7), ao citar Faruk & Sain (2014), identifica como desvantagens dos biocompósitos a sua durabilidade de aplicações em ambientes úmidos e baixa resistência ao fogo, entre outras mais, como:

- A baixa estabilidade térmica, de que resultam dificuldades para encontrar uma técnica de fabrico adequada;
- A fraca resistência à adsorção de umidade, devido à natureza hidrofílica das fibras, o que compromete as propriedades de adesão na zona de ligação interfacial entre as fibras e a matriz;
- A baixa resistência à radiação e consequente degradação fotoquímica quando expostos à radiação UV;
- O baixo ponto de fusão;
- A baixa resistência ao fogo e baixa classificação de reação ao fogo;
- A decomposição em ambientes alcalinos;
- A suscetibilidade de ataque biológico;
- A instabilidade dimensional das fibras, devido às tensões residuais induzidas durante o processamento;
- A elevada variabilidade das propriedades físicas e mecânicas, porque dependem dos materiais, do meio ambiente e da tecnologia de transformação.

O autor então salienta que:

Para aumentar a durabilidade e o desempenho dos materiais biocompósitos, é necessário atuar em várias direções, tal como ao nível dos tratamentos e modificação da superfície das

fibras, aditivação de resinas naturais e no revestimento de produtos finais de biocompósitos. (Real, 2016, p.7)

As informações acima demonstram alguns pontos em comum, considerando que o avanço das pesquisas demonstra novas possibilidades, mas não deixando de lado as limitações provenientes de algumas fibras naturais ou mesmo a adição de resina para a formulação de um composto. Limitações existem, mas são elas que incentivam novas pesquisas e a busca por resultados promissores.

Wolf et al. (2005) destaca que, na Europa, foi iniciado o estudo com polímeros biodegradáveis e a introdução dos mesmos no mercado por dois motivos: primeiro, a capacidade dos aterros foi ficando cada vez mais reduzida, e segundo, a imagem pública ruim dos plásticos gerou a necessidade por novos produtos. Os autores explicam que o primeiro ponto aos poucos foi sumindo, com a reciclagem e novas plantas de incineração, enquanto o segundo ponto manteve-se relevante para a demanda de melhor performance ambiental feita pelos consumidores, para a qual os bioplásticos são interessantes, e o progresso tecnológico se mostra mais e mais um direcionador.

Quanto ao fim de vida destes materiais, Coppola et al. (2021) destaca que, teoricamente, todos os plásticos usuais são biodegradáveis, mas têm degradação lenta, e, portanto, são considerados não biodegradáveis. Para os bioplásticos, além de produzirem menos gases de efeito estufa em comparação aos plásticos comuns, a biodegradação deles depende da sua estrutura química e física, e suas opções de fim de vida são: reciclagem, reprocessamento, incineração, compostagem, digestão anaeróbica e aterros, entre as quais a compostagem seria o mais vantajoso. No entanto, a maior parte do mercado de bioplásticos atual é não-biodegradável, mesmo sendo de fontes renováveis naturais, que são neste caso de biomassas sem características biodegradáveis. Segundo o autor, Bio-PE, bio-PET e bio-PA, por exemplo, todos bioplásticos não-biodegradáveis, representam 40% da capacidade produtiva total mundial de bioplásticos, de cerca de 0,8 milhões de toneladas. A figura 1 mostra um diagrama com os diferentes tipos de bioplásticos, com a divisão entre os biodegradáveis.

Outra limitação técnica a ser considerada é o cálculo do impacto ambiental destes materiais, para genuinamente reduzir os impactos. Dessa forma, a técnica da avaliação de ciclo de vida é apresentada como uma ferramenta com este fim, no relatório técnico do Joint Research Centre. De maneira aplicada aos bioplásticos, este relatório fornece o conhecimento inicial, ferramentas práticas, e sugestões

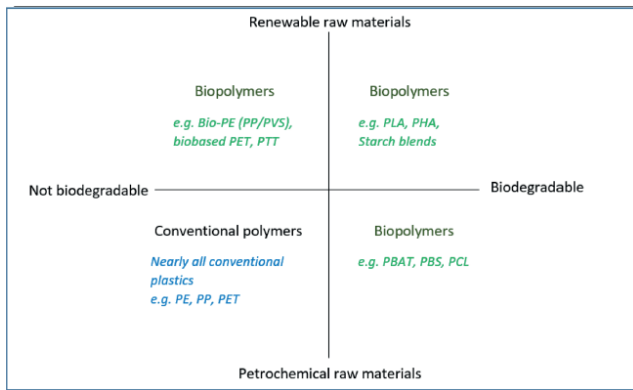


Figura 01: Tipos de bioplásticos.
Fonte: Coppola et al (2021).

de como abordar desafios durante a condução da avaliação, além de exemplos de estudo de caso (European Commission. Joint Research Centre., 2022).

3.3. Limitações logísticas

Em um primeiro momento, para melhor compreensão, é importante definir logística a fim de entender suas limitações e dificuldades com a biomassa, seja o fato de possuir pouca disponibilidade de materiais, a maneira como é transportado entre outras. Neste sentido, Gomes & Ribeiro entendem que a “logística é o processo de gerenciar estrategicamente a aquisição, a movimentação e o armazenamento de materiais, peças e produtos acabados” (2004, p.8).

Rosa (2011) amplia o entendimento e definição, ao dizer que:

Logística é definida como a colocação do produto certo, na quantidade certa, no lugar certo, no prazo certo, com a qualidade certa, com a documentação certa, ao custo certo, sendo produzido ao menor custo, da melhor forma, e deslocado mais rapidamente, agregando valor ao produto e dando resultados positivos aos acionistas e aos clientes. Tudo isso respeitando a integridade humana de empregados, de fornecedores e de clientes e a preservação do meio ambiente. (ROSA, 2011, p. 16).

Dessa forma, entende-se que toda a movimentação e transporte de biomassa tem que ser estratégica, calculada para minimizar os erros e se concentrar nos acertos. Porém, há limitações logísticas relacionadas a biomassas e este tópico busca abordar o que há na literatura.

Ao adentrar nas possíveis limitações, Baesso (2020) desenvolve um estudo onde o objetivo é prospectar o

comportamento futuro do uso da biomassa florestal para finalidades energéticas no Brasil, a autora demonstra que há fatores limitantes para a geração de energia a partir de biomassa florestal, obteve como respostas as entrevistas feitas, os dados abaixo.

Com 41 respostas, os entrevistados acreditam que há uma carência de investimentos/incentivos públicos à pesquisa e à produção. Posteriormente, o que chama a nossa

Fatores limitantes	n	%
Carência de investimentos/incentivos públicos à produção	41	29,5
Alto custo de produção de biomassa atrelado ao baixo retorno econômico	23	16,5
Infraestrutura logística de escoamento de produção e integração da cadeia produtiva	21	15,1
Limitações de produção (tempo, área, tecnologia, oscilações de produtividade)	17	12,2
Desconhecimento sobre as potencialidades do uso de biomassa florestal	12	8,6
Concorrência com outras fontes de energia (renováveis e não-renováveis)	8	5,8
Dificuldades tecnológicas relacionadas ao uso da biomassa florestal	7	5,0
Baixa demanda da indústria para consumo da energia	5	3,6
Outros	2	1,4
Não souberam responder	3	2,2

Tabela 03: Fatores limitantes da biomassa para finalidades energéticas.
Fonte: Baesso (2020, p.80).

atenção dentre os fatores limitantes, foram a infraestrutura logística de escoamento de produção e integração da cadeia produtiva, com 21 respostas, e as limitações de produção (tempo, área, tecnologia, oscilações de produtividade), com 17 respostas.

Para Marconcini que desenvolveu o projeto

“Compósitos de polipropileno com altos teores de fibras de bagaço-de-cana” de 2018 a 2020, publicado no portal EMBRAPA, comenta a geração de resíduos no processo agroindustrial e o seu potencial para novos materiais, principalmente a aplicação na indústria automobilística e de construção civil. O autor salienta que “[...] atualmente em aplicações comerciais de compósitos, a quantidade de fibras é geralmente limitada [...]” e que “métodos convencionais de extrusão de compósitos não são possíveis de se utilizar para alto teores de fibras, necessitando-se de misturadores mais eficientes [...]”. O que reforça os aspectos de limitações logísticas no relacionamento comercial com a biomassa.

3.4. Dificuldades econômicas e sociais e limitações em viabilidade financeira

O objetivo principal é buscar a utilização mais eficiente de recursos, buscando meios sustentáveis para o reaproveitamento envolvendo o ciclo de vida do produto, desde a concepção até a disposição final. Sendo o material que era considerado resíduo passa a ser a matéria-prima para novos produtos (Oliveira et al., 2019). Isso reduz a necessidade de novos recursos e emprega materiais que seriam normalmente considerados passivos ambientais (Azevedo, 2015).

Segundo Dias (2007), políticas de mercado focadas no desenvolvimento sustentável e preservação do meio ambiente são essenciais, além de somente pensar na gestão dos resíduos. Com isso, técnicas de marketing ambiental ou eco marketing são estratégicas para influenciar as escolhas dos consumidores e a impulsionar a conscientização ambiental (Mendonza, 2020).

A questão econômica pode ser relacionada as políticas de incentivo citadas, mas um passo importante pode ser a identificação dos contextos nos quais elas são necessárias. No caso dos bioplásticos, são destacados por Coppola et al. (2021), por exemplo, variações relevantes nos preços na utilização dos PHAs para embalagens de alimentos, aonde a opção mais barata seria a injeção de espumas moldadas, reduzindo a aplicação do material. Wolf et al. (2005) destaca que, para o caso deste material, 40% a 50% dos custos de produção se devem ao custo da matéria-prima, e que existem algumas estratégias para redução destes custos, como o uso de bactérias *E. coli* recombinantes na produção, possibilitando que os custos sejam 4 vezes menores, em casos analisados pelos autores na literatura.

Existem diversos estudos que englobam os desafios

econômicos associados as limitações em viabilidade financeira do uso de biomassa para produtos reconstituídos. Segundo Moraes et al. (2017), os custos de produção mais elevados são uma das principais barreiras para a utilização desses produtos como a necessidade de investimentos em tecnologias de conversão e processamento, além da exigência de se estabelecer uma cadeia de suprimentos eficiente, a qual pode contribuir para o aumento dos custos envolvidos no desenvolvimento desses produtos.

Uma das maiores barreiras é a competição com materiais e produtos convencionais, que, em geral, são mais baratos, afetando a viabilidade financeira dos produtos de fontes alternativas. Andrew e Dhakal (2022) aponta que plásticos e polímeros petroquímicos, que são considerados materiais tradicionais são mais acessíveis em termos de custo de produção, com a sua presença no mercado estabelecida. Segundo Donner et al. (2020), uma inovação tecnológica sozinha não garante automaticamente o sucesso econômico. É difícil convencer uma empresa consolidada a apostar em modelos de negócios inovadores. Então, para serem considerados viáveis e competitivos, os modelos alternativos de negócios devem focar em responder a necessidades específicas de certos consumidores, assim não entrando em conflito com o mercado de modelos clássicos.

Uma opção para ultrapassar essas limitações é a busca por estratégias de financiamento e incentivos privados ou governamentais. De acordo com Gonçalves et al. (2017), são essenciais parcerias entre setores público e privado para impulsionar a inovação dessas pesquisas e como resultado, reduzir os custos de produção. Além disso, como já mencionado anteriormente, existe a necessidade de promover políticas de sustentabilidade para que benefícios ambientais da utilização de produtos reconstituídos de biomassa sejam incentivados, assim como o seu consumo.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Essa revisão bibliográfica aponta a necessidade de investimentos em pesquisa, desenvolvimento de tecnologias e parcerias estratégicas para impulsionar o uso da biomassa de forma sustentável.

A superação das limitações em viabilidade financeira do uso de biomassa para produtos reconstituídos requer uma abordagem abrangente, envolvendo tanto aspectos econômicos quanto políticos. A busca por soluções que equilibrem os benefícios ambientais com a viabilidade

financeira é fundamental para promover a adoção generalizada desses produtos e impulsionar a transição para uma economia mais sustentável.

REFERÊNCIAS

ASTM 6866. Disponível em: <<https://www.astm.org/d6866-22.html>>. Acesso em: 15 maio. 2023.

ASTM D7081. Disponível em: <<https://www.astm.org/d7081-05.html>>. Acesso em: 15 maio. 2023.

Andrew, J. J., & Dhakal, H. N. (2022). Sustainable bio-based composites for advanced applications: recent trends and future opportunities – A critical review. **Composites Part C: Open Access**, 7, 100220. <https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2021.100220>

Araújo, I. I. de. (2015). **Caracterização físico-mecânica de painéis de partículas de bambu com adição de casca de café [Dissertação]**. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA.

Archangelo, A. (2016). **Painéis de bambu com casca de arroz e adesivo de mamona [Dissertação]**. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.

Arevalo-Gallegos, A., Ahmad, Z., Asgher, M., Parra-Saldivar, R., & Iqbal, H. M. N. (2017). Lignocellulose: A sustainable material to produce value-added products with a zero waste approach—A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, 99, 308–318. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.02.097>

Armstrong, C. M., Niinimäki, K., Kujala, S., Karell, E., & Lang, C. (2015). Sustainable product-service systems for clothing: exploring consumer perceptions of consumption alternatives in Finland. **Journal of Cleaner Production**, 97, 30–39. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.046>

Ashik, K. P., & Sharma, R. S. (2015). A Review on Mechanical Properties of Natural Fiber Reinforced Hybrid Polymer Composites. **Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering**, 03(05), 420–426. <https://doi.org/10.4236/jmmce.2015.35044>

Azambuja, M. D. A., & Kawakami, C. A. F. (2015). PAINÉIS EM BAMBU PARA HABITAÇÃO SOCIAL. **Revista**

Nacional de Gerenciamento de Cidades, 3(20). <https://doi.org/10.17271/2318847232020151063>

Azevedo, J. L. de. (2015, agosto). A ECONOMIA CIRCULAR APLICADA NO BRASIL: UMA ANÁLISE A PARTIR DOS INSTRUMENTOS LEGAIS EXISTENTES PARA A LOGÍSTICA REVERSA. **Congresso Nacional de Excelência em Gestão**.

Baesso, T. N., Simioni, F. J., Buschinelli, C. C. de A., & Moreira, J. M. M. Á. P. (2021). **Prospecção do Uso da Biomassa Florestal para Finalidades Energéticas no Brasil**. Atena Editora. <https://doi.org/10.22533/at.ed.366211202>

Barbieri, L., Andreola, F., Lancellotti, I., & Taurino, R. (2013). Management of agricultural biomass wastes: Preliminary study on characterization and valorisation in clay matrix bricks. **Waste Management**, 33(11), 2307–2315. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.03.014>

Barrero, N. M. G. (2016). **Estudo da durabilidade de painéis de partículas de bagaço de cana de açúcar e resina poliuretana a base de óleo de mamona para aplicação na construção civil [Universidade de São Paulo]**. <https://doi.org/10.11606/T.74.2016.tde-16032016-161005>

Barrero, N. M. G., Fiorelli, J., Rossignolo, J. A., & Savastano Junior, H. (2016). Avaliação de metodologias de envelhecimento em painéis de partículas de bagaço de cana-de-açúcar para aplicação em sistemas construtivos. Em Avaliação de Desempenho de Tecnologias Construtivas Inovadoras: **Materiais e Sustentabilidade** (p. 177–222). Editora Scienza. <https://doi.org/10.5935/978-85-5953-005-6.2016C007>

Bertolini, M. da S. (2011). **Emprego de resíduos de Pinus sp tratado com preservante CCB na produção de chapas de partículas homogêneas utilizando resina poliuretana à base de mamona [Universidade de São Paulo]**. <https://doi.org/10.11606/D.88.2011.tde-26042011-121731>

Bhatia, M. S., & Jakhar, S. K. (2021). The effect of environmental regulations, top management commitment, and organizational learning on green product innovation: Evidence from automobile industry.

Business Strategy and the Environment, 30(8), 3907–3918. <https://doi.org/10.1002/bse.2848>

Brito, F. M. S. (2018). **Produção e avaliação da qualidade de painéis aglomerados constituídos por partículas de bagaço de cana-de-açúcar e bambu** [Universidade de São Paulo]. <https://doi.org/10.11606/T.11.2018.tde-03052018-132019>

CASTRO, B. F. M. (2013). Estudo e caracterização mecânica de compósitos reforçados com fibras naturais. [Dissertação]. **Instituto Superior de Engenharia do Porto**.

CEN/TS 16137:2011 - **Plastics - Determination of bio-based carbon content**. Disponível em: <<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/f949c2a-4-1615-44b2-94d5-8cc40478e330/cen-ts-16137-2011>>. Acesso em: 15 maio. 2023.

Charter, M., & Tischner, U. (2017). **Sustainable Solutions: Developing Products and Services for the Future**. Greenleaf Publishing Limited.

Coppola, G., Gaudio, M. T., Lopresto, C. G., Calabro, V., Curcio, S., & Chakraborty, S. (2021). Bioplastic from Renewable Biomass: A Facile Solution for a Greener Environment. **Earth Systems and Environment**, 5(2), 231–251. <https://doi.org/10.1007/s41748-021-00208-7>

Correa, C. A. (2008). Bionanocompósitos e novas tendências em engenharia de biomassa. **Polímeros**, 18(1), E13–E14. <https://doi.org/10.1590/S0104-14282008000100004>

Cozzolino, G. F. C., & Fontes, L. de C. (2022). Embalagens Sustentáveis a partir de Polímeros Biodegradáveis e suas Aplicações no Mercado [Trabalho de Conclusão de Curso]. UNIFESP.

Dhillon, G. S., Kaur, S., & Brar, S. K. (2013). Perspective of apple processing wastes as low-cost substrates for bioproduction of high value products: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 27, 789–805. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.06.046>

Dias, R. (2007). **Marketing ambiental: ética, responsabilidade social e competitividade nos negócios** (1o ed, Vol. 1). Atlas.

Donner, M., Gohier, R., & de Vries, H. (2020). A new circular business model typology for creating value from agro-waste. **Science of The Total Environment**, 716, 137065. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137065>

Dungani, R., Karina, M., S., Sulaeman, A., Hermawan, D., & Hadiyane, A. (2015). Agricultural Waste Fibers Towards Sustainability and Advanced Utilization: A Review. **Asian Journal of Plant Sciences**, 15(1–2), 42–55. <https://doi.org/10.3923/ajps.2016.42.55>

EMBRAPA. **Compósitos de polipropileno com altos teores de fibras de cana-de-açúcar**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-projetos/-/projeto/213697/compositos-de-polipropileno-com-altos-teores-de-fibras-de-bagaco-de-cana-de-acucar>. Acesso em: 18 mai 2023.

EN 17228:2019 - Plastics - Bio-based polymers, plastics, and plastics products - **Terminology, characteristics and communication**. Disponível em: <<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/031c79f0-878e-4295-aae9-1e08ef01ac49/en-17228-2019>>. Acesso em: 15 maio. 2023.

EUROPEAN COMMISSION. JOINT RESEARCH CENTRE. **Prospective LCA methodology for novel and emerging technologies for bio-based products: the Planet Bio project**. LU: Publications Office, 2022.

Figueiredo, H. C. N. (2020). **Obtenção e caracterização de compósitos biodegradáveis a partir de resíduos agroenergéticos** [Dissertação]. Universidade Federal do Tocantins.

Galembeck, F., Barbosa, C. A. S., & Sousa, R. A. de. (2009). Aproveitamento sustentável de biomassa e de recursos naturais na inovação química. **Química Nova**, 32(3), 571–581. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000300003>

Gifford, R., Scannell, L., Kormos, C., Smolova, L., Biel, A., Boncu, S., Corral, V., Güntherf, H., Hanyu, K., Hine, D., Kaiser, F. G., Korpela, K., Lima, L. M., Mertig, A. G., Mira, R. G., Moser, G., Passafaro, P., Pinheiro, J. Q., Saini, S., ... Uzzell, D. (2009). Temporal pessimism and spatial optimism in environmental assessments: An 18-nation study. **Journal of Environmental Psychology**, 29(1),

1–12. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2008.06.001>

Gil, A. C. (2008). **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social** (6o ed). Atlas S. A.

GONÇALVES, F. A. de C., AMARAL, E. L. S., LOPES JUNIOR, J. L., LOPES, B. L. S., RIBEIRO JUNIOR, L. da S., BRABO, D. R., & AMARANTE, C. B. do. (2017). Fibras Vegetais: Aspectos Gerais, Aproveitamento, Inovação Tecnológica e uso em Compósitos. **Revista Espacios**, 39(6).

Grando Lora. (2018). **Meio ambiente e Bioeconomia: Cadeia da biomassa, oportunidades de novos negócios através do desenvolvimento das ciências portadoras de futuro no estado do Rio de Janeiro**. SEBRAE.

Guillard, V., Gaucel, S., Fornaciari, C., Angellier-Coussy, H., Buche, P., & Gontard, N. (2018). The Next Generation of Sustainable Food Packaging to Preserve Our Environment in a Circular Economy Context. **Frontiers in Nutrition**, 5. <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00121>

Jagadeesh, P., Puttegowda, M., Boonyasopon, P., Rangappa, S. M., Khan, A., & Siengchin, S. (2022). Recent developments and challenges in natural fiber composites: A review. **Polymer Composites**, 43(5), 2545–2561. <https://doi.org/10.1002/pc.26619>

Khatibi, F. S., Dedekorkut-Howes, A., Howes, M., & Torabi, E. (2021). Can public awareness, knowledge and engagement improve climate change adaptation policies? **Discover Sustainability**, 2(1), 18. <https://doi.org/10.1007/s43621-021-00024-z>

Lin, R.-J., Chen, R.-H., & Huang, F.-H. (2014). Green innovation in the automobile industry. **Industrial Management & Data Systems**, 114(6), 886–903. <https://doi.org/10.1108/IMDS-11-2013-0482>

Liu, Y., Nie, Y., Lu, X., Zhang, X., He, H., Pan, F., Zhou, L., Liu, X., Ji, X., & Zhang, S. (2019). Cascade utilization of lignocellulosic biomass to high-value products. **Green Chemistry**, 21(13), 3499–3535. <https://doi.org/10.1039/C9GC00473D>

Magnier, L., & Schoormans, J. (2015). Consumer reactions to sustainable packaging: The interplay of visual appearance, verbal claim and environmental concern.

Journal of Environmental Psychology, 44, 53–62. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2015.09.005>

Manger, C. EU policy framework on bioplastics. **European Bioplastics e.V.**, [s.d.]. Disponível em: <<https://www.european-bioplastics.org/policy/eu-policy-framework-on-bioplastics/>>.

Melo, R. R. de, Stangerlin, D. M., Sousa, A. P. de, Cademartori, P. H. G. de, & Schneid, E. (2015). Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados madeira-bambu. **Ciência Rural**, 45(1), 35–42. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20120970>

Mendoza, Z. M. dos S. H., Borges, P. H. de M., Morais, P. H. de M., & Santos, R. R. V. L. (2020). Resíduos madeireiros gerados pelo processamento mecânico em municípios de Mato Grosso. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, 3(2), 616–628. <https://doi.org/10.34188/bjaerv3n2-018>

Miskalo, E. P. (2009). **Avaliação do potencial de utilização de bambu (*Dendrocalamus giganteus*) na produção de painéis de partículas orientadas** [Dissertação]. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Moraes, S. L. de, Peres Massola, C., Maziero Maziero Saccoccio, E., Pereira da Silva, D., & Basile Tukoff Guimarães, Y. (2017). Cenário brasileiro da geração e uso de biomassa adensada. **Revista IPT Tecnologia e Inovação**, 1(4). <https://doi.org/10.34033/2526-5830-v1n4-5>

NASSER, S. M. (2016). **PAINÉIS DE PARTÍCULAS DE BAMBU E CASCA DE AMENDOIM COM ADESIVO À BASE DE MAMONA** [Dissertação]. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.

Nogueira, C. de L. (2008). **Painel de bambu laminado colado estrutural** [Universidade de São Paulo]. <https://doi.org/10.11606/D.11.2008.tde-30052008-143617>

Oliveira, A. C. V., Silva, A. de S., & Moreira, Í. T. A. (2019). ECONOMIA CIRCULAR: CONCEITOS E CONTRIBUIÇÕES NA GESTÃO DE RESÍDUOS URBANOS. **RDE - Revista de Desenvolvimento Econômico**, 3(44), 273–289. <https://doi.org/10.36810/rde.v3i44.6386>

OLIVEIRA, J. C. DE. (2021). **DESEMPENHO DE FILTROS**

ORGANIZADOS NO TRATAMENTO PRIMÁRIO DA ÁGUA RESIDUÁRIA DO BENEFICIAMENTO DO FRUTO DO AÇAÍ [Trabalho de conclusão de curso]. UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA .

Pozzer, T. F. (2019). **Painel sanduíche com núcleo corugado de partículas de bagaço de cana-de-açúcar e resina PU-mamona** [Universidade de São Paulo]. <https://doi.org/10.11606/D.74.2019.tde-29042019-101441>

Prasanth, S. M., Kumar, P. S., Harish, S., Rishikesh, M., Nanda, S., & Vo, D.-V. N. (2021). Application of biomass derived products in mid-size automotive industries: A review. *Chemosphere*, 280, 130723. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130723>

Real, L. P. (2016, novembro). Biocompósitos. Uma alternativa sustentável para a construção. **2 Encontro Nacional sobre Qualidade e Inovação na Construção**.

Ribaski, N. G., & Belini, U. L. (2020). Urban wood solid waste use / Aproveitamento de resíduos sólidos urbano madeireiro. *Brazilian Journal of Technology*, 2(3), 742–757.

Rosa, Rodrigo de Alvarenga. **Gestão de operações e logística I**. Florianópolis: UFSC; [Brasília]: CAPES: UAB, 2011.

Sá, V. A. de, Bufalino, L., Albino, V. C. S., Corrêa, A. A., Mendes, L. M., & Almeida, N. A. (2012). Mistura de três espécies de reflorestamento na produção de painéis cimento-madeira. *Revista Árvore*, 36(3), 549–557. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622012000300017>

Sanjay, M. R., Madhu, P., Jawaid, M., Sentharamaikkannan, P., Senthil, S., & Pradeep, S. (2018). Characterization and properties of natural fiber polymer composites: A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, 172, 566–581. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.101>

Sartori, D. de L. (2012). **Painel portante estrutural com chapa de partículas de bagaço de cana-de-açúcar e resina de mamona para centro de manejo bovino** [Universidade de São Paulo]. <https://doi.org/10.11606/D.74.2012.tde-25092012-083907>

Silva, C. A. da, Silva, A. A. da, Freitas, B. de O., Cruz, N. R. Da, Bortolozzo, F. G., Rezende, L. C. S. H., & Bergamasco, R. (2015). Estudo da Incorporação de

Lodo de ETA em Painéis de Madeira Aglomerada. **Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, 7307–7313. <https://doi.org/10.5151/chemeng-cobeq2014-0581-24845-157436>

Silva, E. J. da, Velasco, F. de la C. G., Luzardo, F. H. M., Maranduba, H. L., & Marques, M. L. (2018). Avaliação ambiental, econômica e social de um novo compósito cimentício produzido com elevado teor fibra de coco tratada. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 9(4), 253–267. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.004.0021>

Souza, M. J. C. de. (2020). **Uso da casca de coco para produção de painéis reconstituídos** [Dissertação]. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

STANDARDS, E. DIN EN 13432. Disponível em: <<https://www.en-standard.eu/din-en-13432-requirements-for-packaging-recoverable-through-composting-and-biodegradation-test-scheme-and-evaluation-criteria-for-the-final-acceptance-of-packaging-english-version-of-din-en-13432/>>.

SUGAHARA, E. S. (2018). **PAINÉIS AGLOMERADOS PRODUZIDOS COM PARTÍCULAS DE EUCALIPTO E BAGAÇO DE CANA, COM ADESIVOS UREIA FORMALDEÍDO E POLIURETANO À BASE DE MAMONA** [Dissertação]. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.

Trianoski, R., Iwakiri, S., & Bonduelle, G. M. (2020). Qualidade das juntas coladas de madeira de cinco espécies de Eucalyptus com adesivos acetato de polivinila e resorcina-formaldeído. *Madera y Bosques*, 26(3). <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2632064>

Vásquez, Z. S., de Carvalho Neto, D. P., Pereira, G. V. M., Vandenberghe, L. P. S., de Oliveira, P. Z., Tiburcio, P. B., Rogez, H. L. G., Góes Neto, A., & Soccol, C. R. (2019). Biotechnological approaches for cocoa waste management: A review. *Waste Management*, 90, 72–83. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.04.030>

Wahrlich, J., Alvarenga, R. A. F. de, Henkes, J. A., Rossato, I. D. F., & Simioni, F. J. (2020). AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO CICLO DE VIDA: UMA REVISÃO. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 9(2), 183. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v9e22020183-201>

Wolf, O. (2005). **Techno-economic feasibility of large-scale production of bio-based polymers in Europe**. European Commission.

AGRADECIMENTOS

Expressamos nossa gratidão pelos recursos concedidos pela Fundação de amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) e pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, que nos proporcionou a oportunidade de participar da disciplina de Biomassa para Produtos Reconstituídos do curso de doutorado PPGSAU.

AUTORES

ORCID: 0000-0002-5493-2896

MARIANA MENONCIN, Engenheira Ambiental. | UTFPR | Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade Ambiental Urbana | Curitiba, Paraná (PR) - Brasil | Correspondência para: Av. Sete de Setembro, 3165 - Rebouças CEP 80230-901 - Curitiba - PR | E-mail: marianamenoncin@gmail.com

ORCID: 0000-0003-0707-3133

IGOR CÉSAR ROSA SILVA, Doutorando. | UERJ/ESDI | Programa de Pós-Graduação em Design | Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (RJ) - Brasil | Correspondência para: Rua do Passeio, 80 - Lapa, Rio de Janeiro - RJ, 20031-040 | E-mail: igorcesar.rossasilva@gmail.com

ORCID: 0000-0003-2229-4241

FERNANDA RAMOS ASSOLARI, Engenheira Mecânica. | UTFPR | Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica | Curitiba, Paraná (PR) - Brasil | Correspondência para: R. Leonardo Guembaroski, 184 - Sítio Cercado, Curitiba - PR, 88132-000 | E-mail: fernandarassolari@gmail.com

ORCID: 0000-0002-5025-8582

UGO LEANDRO BELINI, Professor Depto Desenho Industrial | UTFPR | Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade Ambiental Urbana | Curitiba, Paraná (PR) - Brasil | Correspondência para: Av. Sete de Setembro, 3165 - Rebouças CEP 80230-901 - Curitiba - PR | E-mail: ubelini@utfpr.edu.br

COMO CITAR ESTE ARTIGO

MENONCIN, Mariana; SILVA, Igor César Rosa; ASSOLARI, Fernanda Ramos; BELINI, Ugo Leandro. *MIX Sustentável*, v. 9, n. 5, p. xx-xx, 2023. ISSN 2447-3073.

Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: _/_/_doi: <<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n5.xx-xx>>.

SUBMETIDO EM: 25/06/2023

ACEITO EM: 15/09/2023

PUBLICADO EM: 31/10/2023

EDITORES RESPONSÁVEIS: Aguinaldo dos Santos e Lisiane Ilha Librelotto

Registro da contribuição de autoria:

Taxonomia CRediT (<http://credit.niso.org/>)

MM: conceituação, análise formal, investigação, metodologia, visualização, escrita - rascunho original, escrita - revisão & edição.

ICRS: conceituação, análise formal, investigação, metodologia, visualização, escrita - rascunho original, escrita - revisão & edição.

FRA: conceituação, análise formal, investigação, metodologia, visualização, escrita - rascunho original, escrita - revisão & edição.

ULB: Supervisão, validação, escrita - revisão & edição.

Declaração de conflito: nada foi declarado.

DESIGN, CRISE ECOLÓGICA E CONDIÇÕES DE PRESERVAÇÃO DE VIDA NA TERRA

DESIGN, ECOLOGICAL CRISIS, AND CONDITIONS FOR THE PRESERVATION OF LIFE ON EARTH

DISEÑO, CRISIS ECOLÓGICA Y CONDICIONES PARA PRESERVAR LA VIDA EN LA TIERRA

MARLI TERESINHA EVERLING, Dra. | Univille - Universidade da Região de Joinville, Brasil

EULER RENATO WESTPHAL, Dr. | Univille - Universidade da Região de Joinville, Brasil

RESUMO

O objetivo do artigo é discutir o “princípio responsabilidade” (proposto por Jonas) e “a condição humana” (abordada por Arendt) para a fundamentação do design para uma ética da vida. A metodologia abrange: análise da definição de profissão pela Organização Mundial do Design, ponderações acerca do design à luz de leituras sobre a natureza humana e sua condição, bem como ecologia, condições de preservação da vida e regeneração, com base em autores como: Lovelock (1979), Cross (1982, 2004), Freire (1996), Csikszentmihalyi (1993), Jonas (2006, originalmente publicado em 1979), Harari (2014), Irwin (2015), Arendt (2016, originalmente publicado em 1958) e Papanek (2019, originalmente publicado em 1971). Os resultados estabelecem conexões entre design, crise ecológica, condição humana, princípio responsabilidade e condições de preservação de vida na Terra. Abordam também a relevância pedagógica da capacitação profissional para esse fim.

PALAVRAS-CHAVE

Princípio responsabilidade, crise ecológica, preservação de condições de vida na Terra.

ABSTRACT

The purpose of the article is to discuss the 'Imperative Responsibility (proposed by Jonas) and 'The Human Condition' (addressed by Arendt) for the design foundation for an ethics of life. The methodology includes: (i) analysis of the definition of design proposed by the World Design Organization, (ii) considerations about design in readings on human nature, its condition, as well as ecology, conditions for preservation of life and regeneration, based on authors such as Arendt (2016, originally published in 1958), Papanek (2019, originally published in 1971), Jonas (2006, originally published in 1979), Lovelock (1979), Cross (1982), Csikszentmihalyi (1993), Freire (1996), Harari (2014) and Wahl (2016). The results link design, ecological crisis, human condition, imperative responsibility and preservation of life on Earth; besides pedagogical education of professional training for this purpose were discussed.

KEYWORDS

Imperative of responsibility, ecological crisis, preservation of living conditions on Earth.

RESUMEN

El objetivo del artículo es discutir el "Principio de Responsabilidad" (propuesto por Jonas) y "La Condición Humana" (abordado por Arendt) para la fundamentación del diseño para una ética de la vida. La metodología abarca: (i) análisis de la definición de profesión de la Organización Mundial del Diseño, (ii) ponderaciones sobre el diseño a la luz de lecturas sobre la naturaleza humana, su condición, así como, la ecología, las condiciones



de preservación de la vida y la regeneración, de autores como: Arendt (2016, publicado originalmente en 1958), Papanek (1971), Jonas (publicado originalmente en 1979), Lovelock (1979), Cross (1982, 2004), Czikszenmihalyi (1993), Freire (1992, 1996), Jonas (2006) Harari (2014) e Irwin (2015). Los resultados establecen conexiones entre diseño, crisis ecológica, condición humana, principio de responsabilidad y condiciones para preservar la vida en la Tierra. También abordan la pertinencia pedagógica de la formación profesional para este fin.

PALABRAS CLAVE

Principio de responsabilidad; crisis ecológica; preservación de la vida en la Tierra; design.

1. INTRODUÇÃO

Este artigo é uma sequência da série de publicações anteriores, ancoradas nos objetivos do projeto Ethos – Design e Relações de Uso (vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade da Região de Joinville -PPGDesign/Univille), cujos fundamentos estão na ergonomia e nos conceitos dela derivados, como usabilidade, experiência do usuário, dimensão humana, design emocional, análise do contexto, processos participativos e cocriativos. Em 2020, assumiu-se a intenção de considerar questões ecológicas e ambientais como pano de fundo, o que motivou essa discussão com base em autores da filosofia.

A teoria de foco está apoiada em A Condição Humana, de Hannah Arendt (2016, originalmente publicado em 1958) e O Princípio Responsabilidade, de Hans Jonas (2006, publicado originalmente em 1979). Além dos dois autores, a metodologia incluiu leituras inseridas no Quadro 01:

A natureza humana: Harari (2014)
A distinção entre condicionamento e determinação: Freire (1996)
A evolução do ser: Csikszentmihalyi (1993)
Teoria de Gaia: Lovelock (1979)
Paradigma e crise ecológica: Capra e Luisi (1996), Westphal (2009), Beckert (2012), Castanheira (2020), (UNDP, 2020)
Design como terceira área do conhecimento como fenômeno de estudo e o mundo artificial construído: Cross (1982; 2004)
Design e impactos sociais e ecológicos: Papanek (2019)
Considerações sobre definição do design, planejamento e wicked problems: Rittel e Webber (1973), Buchanan (1992), Organização Mundial do Design (World Design Organization)

Quadro 01: Fontes de literatura consultadas.
Fonte: Autores.

A relevância do estudo está na necessidade de novas narrativas a favor de atitudes, valores e comportamentos que priorizem a condição humana, conforme Arendt (2016), como parte da natureza e integralmente dependente dela. Só assim o mundo artificial construído, presente nas discussões de Cross (2004) e Arendt (2016), será reflexo das dimensões ideacionais e comportamentais da cultura que favorecem a preservação da vida.

Embora boa parte do artigo seja destinado a articular o pensamento de Jonas (2006) e Arendt (2016) com o design em um cenário de crise ecológica, também foi dedicada atenção às conceituações da área, especialmente aquela proposta pela World Design Organization (WDO), por abarcar uma série de noções anteriores, por ser uma orientação para o campo e pelo compromisso que possui com questões relacionadas à sustentabilidade, escopo do PPGDesign/Univille.

Os resultados das articulações argumentam a favor do design orientado para condições de preservação de vida na Terra e evidenciam a relevância pedagógica da capacitação profissional para esse fim.

2. DESIGN, CRISE E PERSPECTIVAS

2.1. Design e complexidade

O cotidiano reflete a crise entre o paradigma antropológico e o paradigma ecológico defendido por autores como Capra e Luisi (1996, p. 16):

O novo paradigma pode ser chamado de uma visão de mundo holística, que concebe o mundo como um todo integrado, e não como uma coleção de partes dissociadas. Pode também ser denominado visão ecológica, se o termo "ecológica" for empregado num sentido muito mais amplo e mais profundo que o usual. A percepção ecológica profunda reconhece a interdependência fundamental de todos os fenômenos, e o fato de que, enquanto indivíduos e sociedades, estamos todos encaixados nos processos cíclicos da natureza (e, em última análise, somos dependentes desses processos).

Enquanto Capra e Luisi (1996) apontam a teoria da Gestalt como fundamento para o pensamento sistêmico, Westphal, autor de Ciência e Bioética (2009), situa o fulcro dessa mudança nas elaborações das teorias quântica e da relatividade. Com base no conhecimento delas derivado, a cosmovisão transitou da percepção mecanicista e cartesiana da realidade para uma abordagem aberta à organicidade, ao holismo e à ecologia, atentando para as inter-relações e o todo.

Essa perspectiva amplia a complexidade, o que ocorreu também em campos orientados para a solução de problemas como o design. De acordo com Rittel e Webber (1973, p. 159):

Temos aprendido a ver processos sociais como links que amarram sistemas abertos em redes alargadas e interconectadas, de modo que as saídas de um sistema se convertem nas entradas de outros. Nesta estrutura tornou-se menos aparente onde os centros dos problemas se situam e como devemos intervir mesmo quando sabemos que objetivos seguimos. Estamos agora mais sensibilizados para as ondas de repercussões geradas por ações de solução de problemas dirigidos para qualquer um dos nós da rede e não estamos mais surpresos em encontrar problemas induzidos com maior severidade para outro ponto da rede. Assim temos sido forçados a expandir os limites dos sistemas com os quais lidamos procurando internalizar estas externalidades.

Entretanto, a mudança de percepção sobre a interconectividade e os efeitos retroalimentados entre as partes que compõem o todo – tanto em termos de natureza quanto o mundo construído – não indica caminhos possíveis de ação; tampouco caminhos possíveis para equacionar critérios de design em prol da vida são claros para o campo.

Ápices visíveis da crise manifestam-se em eventos como a pandemia da Covid-19, mudanças climáticas e questões ecológicas que culminam no antropoceno. De acordo com o Relatório de Desenvolvimento Humano da Organização das Nações Unidas (ONU) *The Next Frontier – Human Development and the Anthropocene* (UNDP, 2020), cientistas alertam há anos sobre o risco de doenças zoonóticas e pandemias decorrentes da pressão humana sobre a Terra. Para o relatório, a atividade humana interfere em múltiplos aspectos do mundo natural e em mecanismos do sistema Terra afetando o modo como humanos interagem, percebem a sua posição e enxergam o mundo natural. No artigo “Quem Merece Viver e Quem Merece Morrer: Dilemas Éticos em Tempos de Pandemia da Covid-19”, Westphal (2020) evidencia a relevância de questões como saúde pública, higiene e meio ambiente e os limites da conexão medicina-tecnologia; aponta ainda os dilemas éticos decorrentes do esgotamento do sistema hospitalar.

2.2. Reposicionamento do campo

O design, assim como os demais campos do conhecimento, também está em crise e procura reposicionamento, o

que está evidente na comparação de definições mais contemporâneas de design com compreensões mais clássicas, a que nos dedicamos neste tópico.

Uma análise histórica evidencia sua larga utilização com finalidade econômica para incrementar a disputa e a superioridade das nações, a exemplo do que ocorreu com a educação para o design na Inglaterra do século XIX e na Alemanha do início do século XX, ou pela associação entre marketing e design para alavancar a economia americana após a quebra da bolsa de valores em 1929, ou, ainda, pela criação do Council Design (Conselho Britânico de Design), organização criada em 1944 por Winston Churchill para apoiar a recuperação da economia em um cenário pós-guerra. Evidencia também sua orientação para a inovação e competitividade de corporações nas quais, progressivamente, o design migra uso operacional para ferramenta de gestão nas esferas táticas e estratégicas (GOMES, 1996; SCHNEIDER, 2010; MOREIRA; BERNARDES; ALMENDRA, 2018; COUNCIL DESIGN, 2021).

Enquanto na transição do século XIX para o XX os desafios do design estavam na superação da ruptura entre projetar-produzir – decorrente do processo industrial – e o funcionalismo, que se constituiu em resposta e metáfora adequada, a década de 1960 simbolizou novas perspectivas. Nesse período, apesar da Guerra Fria, da corrida espacial e de uma série de conflitos, questões associadas a direitos humanos, igualdade étnica, racial e de gênero, liberdade sexual e ambientais estiveram na ordem do dia e ganharam visibilidade.

Em termos de ecologia e ambiente, a década produziu imagens como a visão do planeta imerso no cosmos e reflexões como morte e vida de grandes cidades (por Jane Jacobs em 1961) e primavera silenciosa (por Rachel Carson em 1962). Enquanto Carson (1962) contribuiu para a percepção dos efeitos da indústria química de pesticidas sobre as diferentes formas de vida, inclusive a humana, e sensibilizou para as questões ecológicas, Jacobs (1961) abordou as cidades como um espaço ecológico urbano que deveria privilegiar a vida e as experiências das pessoas em vez de situar as indústrias automobilística e imobiliária no centro dos projetos urbanísticos. Por sua vez, a primeira imagem colorida do planeta azul fotografada do espaço por um astronauta, em 1968, concorreu para evidenciar a beleza e a fragilidade do planeta, mobilizando reflexões referentes à preservação do seu equilíbrio (LOVELOCK, 1979).

Embora a coalizão entre design, indústria, corporações e mercado mantenha a sua relevância, os anos 1970 impulsionaram movimentos e reflexões ecológicas como

Gaia – hipótese formulada por Lovelock em 1969 e publicada em 1979 – que também afetaram o campo. Nas suas investigações sobre a biosfera, Lovelock (1979) percebeu todos os seres vivos e elementos materiais da superfície da Terra como parte de uma comunidade – um megaorganismo – que, inconscientemente, interagem para manter o planeta como um sistema confortável para a vida. Em sua percepção, seres humanos não têm direitos especiais, mas obrigações no que tange à preservação do equilíbrio do sistema, uma vez que o seu destino está conectado com o modo como impactam a Terra e a biosfera como um todo.

Essa concepção é compartilhada por Jonas (2006) ao discutir o princípio responsabilidade e por Csikszentmihalyi (1993) ao debater a evolução do self, compreendido pelo autor como “consciência”, algo similar à síntese decorrente da superabundância de sensações recebidas pelo cérebro.

No início da década de 1970, Papanek (2019) escreveu *Designing for the Real World*, texto considerado seminal para discussões sociais e ecológicas no campo do design. Sua obra influencia abordagens sociais e adjetivações como design e sustentabilidade, bem como ecodesign, que ganharam impulso renovado com autores como Ezio Manzini e Carlo Vezzoli (a partir de 1990) e Terri Irwin (a partir de 2015). A WDO incorpora parte desse espírito do tempo.

2.3. Análise da definição de design da WDO tendo em vista a contemporaneidade

A WDO é uma organização Internacional e não governamental que advoga o “design para um mundo melhor”, promovendo o conhecimento orientado para inovação global e qualidade de vida em termos econômicos, sociais, culturais e ambientais. Em 2017 atualizou a definição abarcando uma série de conceitos relevantes para o campo. As citações, que em conjunto compõem a definição do design na íntegra, vêm acompanhadas da contextualização da qual algumas concepções emergiram.

Design Industrial é um processo estratégico orientado para a solução de problemas e para a inovação. Contribui com o sucesso dos negócios e conduz para melhor qualidade de vida por meio de produtos, sistemas, serviços e experiências inovativas (WDO, WEB).

Em grande parte, os problemas abordados pelo

design são de planejamento, prospectivos, complexos – wicked problems –, de difícil formulação e caracterizados por informações incompletas e desordenadas, com valores conflitantes e cujas ramificações do sistema são confusas (RITTEL e WEBBER, 1973; BUCHANAN, 1992).

Até a década de 1980, artefatos físicos e o mundo corporativo eram priorizados – o que, ao lado de outras possibilidades, ainda ocorre. Entretanto, com as tecnologias e os conhecimentos emergentes do pós-guerra, na década de 1940, e, depois, com o desenvolvimento das tecnologias da comunicação e da informação, na década de 1980, conceituações de design incorporaram o usuário – ou os desejos/as necessidades da(s) pessoa(s) para quem se projeta –, o que está evidente em termos como usabilidade, contexto de uso, design emocional, experiência do usuário, design centrado no usuário, design centrado no humano, design participativo e cocriação (NORMAN, 2006; LEE, 2012).

O design de serviços também foi fomentado pelas possibilidades oriundas da informática. No início dos anos 1990 foi cunhado o termo sistema produto-serviço (product-service system – PSS), que integra produtos físicos e serviços imateriais (TARTAS *et al.*, 2016). Conceitos relacionados à experiência do usuário e ao design de serviços ainda estão em visível desenvolvimento, ao lado de abordagens como inovação social e transition design (IRWIN, 2015).

Na continuidade do conceito está a essência da definição:

O design industrial supera a lacuna entre “o que é”; e “o que é possível”. [...] Em sua essência o design industrial provê um olhar mais otimista para o futuro ao reposicionar problemas como oportunidades (WDO, WEB).

O caráter prospectivo do design está incorporado desde a sua origem. As expressões entre o que é e o que é possível, olhar mais otimista orientado para o futuro, bem como o reposicionamento de problemas como oportunidades, se conectam com questões orientadas para o futuro como a abordagem de transition design, que será retomada mais adiante.

É uma profissão transdisciplinar que acentua a criatividade para resolver problemas e cocriar soluções com a intenção de tornar o produto, sistema, serviço e experiência ainda melhor (WDO, WEB).

Sugere-se projetar com pessoas em vez de projetar para pessoas. Para a antropóloga Elizabeth Sanders (2002), cocriação é a superação de design participativo, assim como este último é uma suplantação do design centrado no humano.

Embora se reconheça a sequência cronológica dessas abordagens, discorda-se da antropóloga, porque, comparando aspectos teórico-metodológicos, observam-se similaridades e sobreposições com fronteiras muito tênues entre as abordagens.

A abordagem do design conecta inovação, tecnologia, pesquisa, negócios e consumidores para providenciar novos valores e vantagens competitivas nas esferas social, econômica e ambiental (WDO, WEB).

Referências a esferas social, econômica e ambiental, assim como impacto social, econômico e ambiental, denotam a conexão com a Agenda Mundial do Desenvolvimento Sustentável 2030, da Organização das Nações Unidas (ONU). A agenda indica 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, que visam erradicar a pobreza e promover vida digna nos limites do planeta (AGENDA 2030, 2021). Os objetivos que a WDO julgou relevantes para contribuições do design são: (3) saúde e bem-estar, (6) água potável e saneamento, (7) energia acessível e limpa, (9) indústria, inovação e infraestrutura, (11) cidades e comunidades sustentáveis, (12) consumo e produção responsáveis, e (17) parcerias e meios de implementação. As raízes das questões ambientais, entretanto, são anteriores a essa conexão e estão situadas em Papanek (2019).

No próximo segmento da definição está articulada a conversão dos valores, comportamentos, necessidades e desejos dos usuários/pessoas em soluções de design que também são quadro de fundo das metodologias projetuais.

Designers industriais posicionam o ser humano no centro do processo visando um profundo entendimento das necessidades dos usuários por meio da empatia e uma aplicação pragmática do processo de solução de problemas, centrado no humano para o design de produtos, sistemas, serviços e experiências (WDO, WEB).

A empatia – também referida como alteridade na psicologia e na filosofia – é um dos valores do design

apontado por Cross (1982, 2004) quando o caracteriza como terceira área do conhecimento. O design centrado no humano é um dos fundamentos da área quando se volta para a inovação social, atuando para além de ambientes corporativos, abrangendo também comunidades, contextos sociais e contextos urbanos. Também incorpora conceitos do design centrado no usuário – oriundos do design, da ergonomia e da psicologia – e os expande para além do usuário, considerando pessoas em sua dimensão mais integral, com base em contribuições das ciências sociais, antropologia, sociologia e, novamente, psicologia (NORMAN, 2006; CHAVES, 2019).

Designers são stakeholders estratégicos no processo de inovação e estão posicionados de forma única para conectar variedade de disciplinas profissionais e interesses de negócio. Designers valorizam o impacto social, econômico e ambiental da sua atuação e contribuição para co-criar melhor qualidade de vida (WDO, WEB).

Stakeholders – parte interessada, parceiro – e processo de inovação são termos associados aos processos de design thinking, design de serviços e design e inovação social. Design thinking é um termo cunhado na década de 1990 que reconhece características, processos e métodos próprios da área que podem contribuir com outros campos do conhecimento, especialmente na administração, porém suas raízes são mais remotas e incluem os esforços de Bruce Archer (1979) e do Royal College of Art (Inglaterra) para situar o design como terceira área do conhecimento, proposta retomada por Cross (1982, 2004). Nesse segmento da definição também fica explícito o caráter de planejamento e de cooperação que acompanha a profissão.

A análise do conceito da WDO revelou que a abrangência da atuação do design extrapolou o artefato e cedeu espaço para serviços, sistemas e experiências. Embora as corporações sejam investidoras do design e, com frequência, o situem na centralidade dos seus negócios, a profissão enxerga-se para além do universo corporativo, com potencial de contribuir com inovação social, com o espaço urbano, comunidades e políticas públicas, com a saúde e o bem-estar, com o consumo e a produção conscientes, conforme pode ser observado em organizações como a Rede Design for Social Innovation and Sustainability (Desis) e o Council Design. Com ênfase ambiental, ao lado do prefixo eco e do termo sustentabilidade, desde 2011 o termo vem sendo acompanhado de

palavras como inovação social, transition e cultura regenerativa, que, apesar de ausentes na definição da WDO (WEB), se anunciam em frases como: “superar a lacuna entre ‘o que é’ e ‘o que é possível’”.

No artigo *Transition Design: A Proposal for a New Area of Design Practice, Study, and Research*, Irwin (2015) defende a necessidade de novas abordagens de design para solucionar problemas complexos, entre os quais elenca: mudanças climáticas, perda da biodiversidade, esgotamento dos recursos humanos e ampliação da lacuna entre ricos e pobres. A autora advoga que o design pode contribuir com a transição para um futuro mais sustentável, considerando (re)concepção de estilos de vida, atenção à interconectividade e interdependência de sistemas, o localismo cosmopolita e os novos paradigmas e mudanças sociais e ambientais.

Observa-se que esses princípios também são frequentes nas discussões de Capra e Luisi (1996), ao caracterizarem o paradigma sistêmico ou ecológico do conhecimento; e Manzini e Vezzoli (2002), ao discutirem o design para um mundo em transformação e a inovação social. Irwin (2015) propõe quatro elementos-chave para fundamentar narrativas, conhecimento, habilidades e a atuação no campo do design: visão da transição, teorias da mudança, mentalidade e postura, bem como novas direções para o design. De acordo com Irwin (2015), o conceito é inspirado no movimento cidades para transição, cujas origens estão em Hopkins, e na permacultura, proposta por Mollison e Holmgren.

Wahl (2016), no livro *Designing Regenerative Cultures*, argumenta a favor da colaboração para afrontar mudanças transformativas – em escalas local, regional, nacional e global –, incluindo campos como educação e design. O primeiro, em virtude da relevância para o comportamento, a criatividade, a cultura, a responsabilidade e o agir; o segundo, em razão do seu potencial para a criação do mundo artificial construído e de artefatos, sistemas, serviços e experiências que condicionam a vida em uma perspectiva de futuro.

Observando a linha do tempo do design, nitidamente houve um avanço de concepção, entretanto o design ainda é mais centrado nas pessoas – abordagem imprescindível, já que a transição para outro modo de viver passa necessariamente por uma mudança de mentalidade – do que nas condições de preservação de vida na Terra. Contudo, considerando que se trata de um campo cujo fenômeno de estudo é o mundo artificial construído, a mudança de lentes do design centrado no humano em direção ao design orientado para as condições de

preservação de vida na Terra, assim como sua atuação interdisciplinar com as ciências da vida e do comportamento, é fundamental para que designers possam contribuir para a manutenção da vida cuidando não apenas da espécie humana, mas da delicada teia que sustenta a preservação da vida.

3. A CONDIÇÃO HUMANA, A CRISE ECOLÓGICA E O PRINCÍPIO RESPONSABILIDADE

3.1. A condição humana

Csikszentmihalyi (1993), em *The Evolving Self*, observa que, embora tão avançados em termos tecnológicos, os processos mentais e emocionais da espécie humana raramente ocorrem conscientemente, e nossos comportamentos são condicionados pelos genes (unidades genéticas) e memes (unidades culturais). Para o autor, a espécie tornou-se poderosa demais para ser conduzida apenas por instintos e condicionamentos. Arendt (2016) em *A Condição Humana* aponta que humanos são entes capazes de ação, iniciando movimentos sem necessariamente compreender suas implicações e consequências tanto em relação ao mundo artificial construído quanto à natureza ou ao mundo natural. A autora propõe pensar sobre essa atuação e considera que a Terra é a base da condição humana, e a natureza terrestre pode ser a única capaz de prover um hábitat passível de movimentação e respiração sem esforço e artifícios. Para além da Terra, a autora assinala que os homens criam suas próprias condições – o mundo artificial construído – com poder condicionante sobre sua vida. Freire (1996), em *A Pedagogia da Autonomia*, indica a diferença entre condicionamento e determinação ao defender que a trajetória humana é de seres condicionados, mas não pre-determinados; que o destino não é um dado, mas antes um processo inacabado de feitura com os outros que requer responsabilidade.

3.2. O princípio responsabilidade

O princípio responsabilidade foi elaborado por Jonas (2006) no quadro de uma reflexão acerca da atividade do homo faber – que constitui o artifício humano e resulta em um mundo artificial construído cuja permanência está para além da existência biológica de cada ser – e da tecnologia por ele criada. Para Arendt (2016), o homo faber desenvolve a técnica e depois é condicionado por ela. O homo faber enxerga-se como ser criador com

habilidades simbólico-criativas e como distinto dos restantes animais, resultando na sua separação do cosmos e do mundo natural, situando-se acima dele, criando um habitat próprio e orientando-se para a contínua superação e desenvolvimento técnico.

Essa utopia, de acordo com a autora, como efeito colateral, resultou no alinhamento humano com o produto de sua criação mais do que com o mundo natural e produziu tecnologias com potencial destrutivo para a espécie e para a biosfera. Entretanto, se os aparatos tecnológicos devastassem o mundo natural e as condições atmosféricas, o ser humano perderia o que suporta a sua própria dignidade antropológica, reposicionando a espécie como parte do mundo natural em sua fragilidade (JONAS, 2006; DOMINGUES, 2016). Mas não são essas percepções que estão no consciente humano; Westphal (2009) aponta que a técnica e o seu desenvolvimento se constituem na ética pós-moderna, situando-se como um mito ou fábula da realidade.

3.3. Crise ecológica

Castanheira (2020), apoiado em Arendt (2016), situa as origens da crise ecológica na idade moderna, cujas experiências e descobertas de instrumentos foram cruciais para constituir o mundo moderno e suas perplexidades, regulações que acompanham nosso modo de viver. Considera ainda que a crise é produto, ao mesmo tempo que as condições ambientais e sociopolíticas. Em relação às gerações do futuro, argumenta:

Falando ecologicamente, o custo a ser pago para a conservação das correntes políticas sociais e do status quo econômico é a expropriação do potencial da vida das gerações do futuro e das condições básicas ambientais e sócio-políticas (CASTANHEIRA, 2020, p. 12).

O autor chama a atenção para o poder da ação humana e suas consequências e finaliza sua reflexão enfatizando que as origens da crise ecológica estão no capitalismo, na tecnociência e na globalização; que não é uma crise passageira contornável com as estruturas normativas correntes ou que pode ser resolvida definitivamente; que parece mais um sinal de uma visão de mundo em colapso, uma condição existencial que pode conduzir a vida na Terra, como a conhecemos, para a destruição (CASTANHEIRA, 2020).

3.4. Como isso diz respeito ao design?

Um dos campos formalizados que potencializam a ação humana por meio do seu braço tecnológico é o design, que, entre outras categorias, responde também por objetos materiais. Estes, de acordo com Buchanan (1992), ao discutir “Wicked Problems in Design Thinking”, tornaram-se instrumentos da ação organizados em ambientes complexos por meio de soluções coerentes de acordo com a problematização.

Observa-se assim que um ponto crucial dos processos de design é aquele que antecede processos decisórios que nem sempre recebem a atenção que merecem. Além disso, Buchanan (1992) aponta que de atividade e profissão o design expandiu o campo de pesquisa técnica, algo como cultura tecnológica. Antes dele, em 1973, Rittel e Webber propuseram o termo wicked problems como especificidade de problemas de planejamento e destacaram que não há uma formulação definitiva do termo:

A informação requerida para entender o problema depende do ponto de partida para solucioná-la. Isso é: para descrever wicked problem em detalhes é necessário desenvolver um exaustivo inventário das soluções cabíveis para o futuro. A razão é que cada questão solicita por informações adicionais dependentes da compreensão do problema e sua resolução naquele contexto. A compreensão de problemas e sua resolução são concomitantes. Assim, para antecipar todas [as] questões (no intuito de antecipar toda a informação requerida para resolução futura), seria necessário o conhecimento de todas as soluções concebíveis.

É diante da crise ecológica, relevância da problematização e do caráter de planejamento, bem como da característica de wicked problems que acompanham o design, que o princípio responsabilidade se justifica.

A ética da responsabilidade proposta por Jonas (2006) requer um agir humano responsável e livre à luz do futuro e de um filtro ético. As consequências das ações (e tecnologias) devem ser ponderadas antes do agir, alterando a ordem de ação e situando a análise das consequências antes do início da ação que afeta também futuras gerações.

Beckert (2012), fundamentada em Jonas (2006), considera o contexto da tecnociência e o poder da nossa espécie à luz da capacidade humana de responder às ameaças e situando-a como uma ética do futuro em escala

planetária. Csikszentmihalyi (1993) e Harari (2014) discutem que o valor que humanos irreversivelmente compartilham é o fluxo da vida da espécie, objetivo que unifica os interesses individuais, requerendo outro conjunto de valores e objetivos, incluindo a cooperação. Beckert (2012) aponta que já não é mais a natureza que limita a técnica, mas o poder humano por ela ampliado, restringendo a natureza para além dos seus limites de modo dispersivo (quando os efeitos da técnica não podem ser localizados em um ponto específico e estão dispersos em uma teia de causa/efeito dificilmente controlável), irreversível (quando não é possível retornar ao estágio anterior ou mitigar os efeitos dispersos) e cumulativo (quando a irreversibilidade das ações e efeitos tem caráter somatório e interdependente ao longo do tempo). Jonas (2006) esclarece que, quando se trata de responsabilidade, não é o espaço contemporâneo da ação que importa, mas o futuro indeterminado afetado pelos atos cumulativos de cada agora, pelas escolhas presentes e suas repercussões futuras, visualizando os efeitos de longo prazo.

Em 1995, dez anos após o princípio de responsabilidade, de Jonas, Papanek publicou *The Green Imperative: Ecology and Ethics in Design and Architecture*, cuja ênfase está na responsabilidade ecológica de designers e usuários e possui intenções de sensibilização para os efeitos inesperados de projetos, em termos ambientais. Sobre ética, o autor escreve:

Pensar desapaixonadamente sobre o que o projetar, bem como, quais são as consequências das intervenções do design pode ser a base para um pensamento ético (PAPANEK, 1995, p. 70).

Embora haja algumas similaridades no discurso e nos títulos em inglês (*imperative responsibility* e *the green imperative*), não há evidências explícitas, no texto nem na bibliografia, de que Papanek tenha utilizado Jonas como referência.

4. DESIGN ORIENTADO PARA CONDIÇÕES DE PRESERVAÇÃO DE VIDA NA TERRA

Na sua heurística do temor – ou da reverência (de acordo com Schweitzer, 1969) –, Jonas (2006) destaca o papel do medo, do temor e dos aspectos emocionais para processos de decisão e ação responsáveis. Não do medo paralisante, mas aquele que mobiliza respeito, apreço, reverência e cuidado. Essa compreensão traz em si a intuição de que o humano é mobilizado mais por emoções

e narrativas do que por dados e informações inóspitos, conforme explicitado em Csikszentmihalyi (1993) e Harari (2014).

Na constituição da profissão do design, podem ser criadas narrativas que situam a concepção ecológica do conhecimento, as condições de preservação e a reverência à vida como direção do agir e da reflexão antecipada no design. A ampla discussão sobre questões éticas e o princípio de responsabilidade, bases para um agir reflexivo e a construção participativa de narrativas, incluindo visões e definições de design, pode contribuir para uma atuação profissional mais consciente.

Jonas (2006) aponta que a humanidade já não se enxerga como parte da natureza, mas acima dela. Essa percepção requer um olhar da profissão para o resultado do seu agir, especialmente para as consequências não previstas, não planejadas e inesperadas – que também acompanham o design por mais que seja um processo de planejamento. Os processos metodológicos e as equipes de design nos cenários sociais, públicos, corporativos precisam considerar consequências e atitudes indesejadas.

Nos anos 1980, a incorporação de psicólogos, antropólogos e cientistas sociais contribuiu para a estruturação de fundamentos sólidos – metodológicos e interdisciplinares – com ênfase na experiência do usuário, o que pode ocorrer também com um design orientado às condições de preservação de vida na Terra. No início da década de 1960, no intuito de manter sua posição de liderança no cenário mundial, os americanos impuseram-se o objetivo de criar meios – condições, conhecimento, investimento, processos, tecnologias – para que o primeiro homem pisasse na lua e, em menos de uma década, o objetivo foi alcançado.

O cenário de pandemia enfrentado mais intensamente em 2019, 2020 e 2021 trouxe duas evidências. A primeira foi a de que mudanças no estilo de vida no início do lockdown (confinamento), em março e abril de 2020, revelaram o quanto a natureza é afetada pelo agir coletivo e, mais do que isso, que há condições de atuar mesmo em um cenário tecnopolítico-social adverso ao consenso, limitando a potencialidade da atuação a favor da preservação da vida. A segunda constatou que o desenvolvimento de vacinas, que, em condições normais leva uma década ou mais (BBC, 2021), em virtude de um objetivo claro e urgente compartilhado, mobilizou a atuação interdisciplinar e coordenada, resultando em mais de cem produtos em desenvolvimento, dos quais seis se encontravam em estágio mais avançado ao longo de 2020, ano de eclosão da pandemia. Matéria de 12 de janeiro de

2021 publicada pelo jornal online da BBC diz que 0,4% da população mundial já havia sido vacinada em 40 países. Matéria do mesmo veículo de 2 de junho de 2021 aponta que já haviam sido produzidas dois bilhões de vacinas, e estimava-se que entre 11 e 12 bilhões de doses seriam produzidas até o fim de 2021. Ainda no mesmo ano, no dia 21 de dezembro o veículo divulgava que “4,28 bilhões de pessoas já receberam ao menos uma dose, o que significa 55,8% de toda a população mundial” (BBC, 2021a; 2021b; 2021c).

Por outro lado, do mesmo modo que os dois anos evidenciaram a importância da ciência e da atuação coordenada para responder a desafios da magnitude da crise sanitária, também ficaram evidentes as contradições, restrições e limitações para atuação com equidade e colaboração em relação à saúde coletiva. Mudanças culturais e comportamentais parecem ser muito mais lentas e desafiadoras que o rápido desenvolvimento tecnológico e requerem uma consistente, persistente e dedicada ação política. Tal percepção diz respeito a outros desafios, o que ressalta também as dificuldades de atuar de modo preventivo, regenerativo e prolongado em relação à crise ecológica, cuja ameaça parece não merecer a mesma prioridade que a sustentabilidade econômica de governos, corporações e empreendimentos e as questões visíveis e emergenciais da vida cotidiana.

Tanto em Jonas (2006) quanto em Csikszentmihalyi (1993) e Harari (2014) aspectos relacionados ao universo simbólico, emocional, incluindo crenças e valores, estão entrelaçados à argumentação. No primeiro autor as evidências estão na discussão das questões do valor. No segundo autor, quando discute a consciência e o modo como ela é subordinada à química e ao cérebro emocional, que entre outros elementos são delineados pelas unidades genéticas e culturais. Por fim, o terceiro autor fundamenta boa parte da história da humanidade nos elementos de coesão social e de colaboração derivados da nossa capacidade de criar histórias e ficções e acreditar nelas, a exemplo do que ocorre com o sistema financeiro, religioso, legal, governamental, entre outros. Mesmo sendo historiador e um fervoroso defensor da importância da dimensão emocional, das histórias e da colaboração, reconheceu ao longo de 2021 que mobilizar a humanidade em torno de um objetivo comum no contexto atual é muito mais difícil do que imaginava (GUARDIAN, 2021).

Arendt (2016) discute a natalidade como a condição de constante renovação com a chegada de novas gerações e é nela que situa a esperança e o potencial de mudança e de preservação da vida. Também é na natalidade,

conforme discutida por Arendt, que Nuno Castanheira (2020, p. 3) no artigo “Youth movements, civil disobedience, and the skandalon of the ecological crisis” situa a alienação, na medida em que

humanos quando nascem embarcam em um mundo no qual são estrangeiros e o modo de lidar com este estranhamento é o esforço constante de encontrar sentido e converter o mundo em sua casa.

Assim, a esperança e a ameaça da atuação humana diante do seu impulso constante de habitar e consumir a Terra para além de suas necessidades no intuito de dominar seus segredos, o reino animal, vegetal e mineral, bem como seus ciclos, são os dois lados da mesma moeda.

Jonas (2006) argumenta que a atuação humana não pode perder de perspectiva o dever em considerar em suas escolhas as condições de preservação de vida na Terra para as próximas gerações, um dos pontos centrais do princípio responsabilidade. Defende, ainda, que como seres individuais considerar a preservação da vida é uma escolha, mas como humanidade é uma obrigação ter em conta as condições de vida na Terra para as gerações do futuro.

Todavia, a educação para o design atua com a próxima geração de designers (natalidade), que traz em si o potencial da mudança e a construção de outros significados para o design. Assim, em termos educacionais e de capacitação profissional, é fundamental discutir as consequências da atuação profissional em um nível menos abstrato, bem como considerar alternativas para agir de outro modo, tendo em vista o princípio responsabilidade e as condições de preservação de vida na Terra.

Apesar de todos os desafios, constitui-se também em um imperativo. Nesse sentido, o esforço está em trazer à luz valores e significados que justifiquem centrar o design nas condições de preservação de vida na Terra – o valor compartilhado por todo –, em vez de enfatizar os flutuantes desejos humanos, quase sempre mais egocêntricos do que ecocêntricos. O argumento é relevante para a atuação profissional, e mais ainda em termos pedagógicos, durante a qualificação e orientação profissional.

Por fim, realça-se a importância do tópico “Design, crise, perspectivas”, considerando que orientações, manifestos, visões e definições de design têm importância conceitual com repercussões ativas na prática profissional. Dedicar tempo e espaço para o design orientado para condições de preservação de vida na Terra em

conceituações é também ferramenta educativa e de reposicionamento profissional.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo foi escrito em 2020 e 2021 e finalizado no início de 2022, transitando por campos do conhecimento como conservação da natureza, filosofia e design. O período foi marcado pela pandemia, e seus desdobramentos foram acompanhados com bastante atenção por serem uma manifestação da crise ecológica.

Em termos de reação do design, durante a progressão da pandemia, observaram-se comprometimento, ativismo e engajamento nos meses iniciais – especialmente em termos de equipamentos, artefatos e estratégias de comunicação –, tendo em vista a saúde, segurança, proteção e assepsia. A atuação nesse sentido foi percebida em associações com a WDO, redes como DESIS e conselhos como o Council Design, assim como em universidades, coletivos e corporações. Logo em seguida, acompanhou-se o desenvolvimento de serviços, artefatos, instrumentos e tecnologias de suporte aos desafios relacionados à vida cotidiana em curso, e, à medida que as organizações aprenderam a lidar com a nova realidade, o design participou com estratégias de adequação e retorno gradual às atividades produtivas, combinando modos remoto, híbrido e presencial de trabalho e socialização calibrados pelas bandeiras de risco locais, regionais e nacionais.

Observar comportamentos durante a crise sanitária ilustrou a complexidade e as contradições de situar as questões apontadas como parte do escopo do design, especialmente a crise ecológica, que é muito mais lenta e gradual, limitando a percepção da gravidade e do grau de ameaça e realidade que a acompanham – ou possibilitando a sua negação –, dificultando ainda mais atuações de cooperação em níveis local, regional, nacional e global.

Discutir questões teórico-tecnológicas de design à luz de autores da filosofia pode alargar questões projetuais para além das dimensões social, ambiental e econômica incorporadas pelos princípios do design para a sustentabilidade. Embora preocupações ambientais estejam presentes desde a década de 1970 e o papel de Papanek seja central em discussões do tipo, as narrativas que orientam o campo ainda são muito mais centradas na vida humana e nas necessidades do agora e de curto prazo – vide design centrado no usuário, design centrado no humano, design participativo, experiência do usuário – do que na preservação da teia que oferece condições de vida na Terra para as gerações do futuro.

A educação para o design é essencial para esses avanços, tanto para a capacitação de profissionais quanto para o consumo consciente. Nesse sentido, buscamos argumentos em Freire (1996), que, além de trazer importantes contribuições do campo da educação – como a pedagogia da autonomia, que pode ser analisada à luz do conceito de liberdade de Jonas (2006) –, ainda é um excelente contraponto às discussões de Arendt acerca da condição humana, na medida em que afirma que somos seres condicionados, mas não determinados; que nossa história com os outros é um tempo de possibilidades, e não de determinismo. É nele que encontramos argumentos que fundamentam o valor da educação para o design defendido ao longo da discussão.

A profissão está entrelaçada com uma série de variáveis e critérios complexos contraditórios que precisam ser equacionados e cuja decisão quase sempre é distribuída e diluída, dificultando sua consideração em processos decisórios. Por outro lado, assim como se defende uma narrativa enfatizando o design e a atuação orientados para a preservação da vida, é preciso reconhecer que tal abordagem só prosperará à medida que questões éticas e de preservação da vida se constituírem em prioridade ou esforço coordenado de todos os campos do saber, ampliando potencialidades de ação.

Equipes multidisciplinares, com a participação mais enfática de profissionais das ciências da vida, da ecologia, da filosofia, podem contribuir para manter os possíveis efeitos que escapam do escopo da profissão, em perspectiva. Processos metodológicos podem incluir etapas que favoreçam análises e reflexões conscientes sobre o inesperado, consequências, responsabilidade e ética. Embora boa parte dessas premissas esteja evidente nas discussões de Papanek (1995) e outros autores, percebe-se que há ainda muito a avançar para que sejam incorporadas, como valores, à práxis do design.

Por fim o texto foi o primeiro de uma série de outras reflexões realizadas ao longo de 2021 e 2022. Dentre elas destacamos: Reflexões sobre Cultura, Design e reificação em condições de crise ecológica – um diálogo com Hannah Arendt (2022), Da Condição Humana e do Princípio Responsabilidade ao Design Orientado para Condições de Preservação de Vida na Terra (2022), De uma Fenomenologia do Design: uma investigação sobre o fundamento das relações de uso face ao propósito de manutenção da vida (2022), Design e Relações de Uso à Luz de A Condição Humana, de Hannah Arendt (2021), Do Design e de uma Ética coerente à vida, um Ensaio com Hans Jonas (2022), De Uma Fenomenologia do Design:

Uma Investigação sobre o Fundamento das Relações de Uso Face ao Propósito de Manutenção da Vida (2023); A Manifestação de "Mundo Artificial" em Hannah Arendt e no Campo do Design (2023). Este conjunto de reflexões justifica maior ênfase dedicada à análise da conceituação e discussão do design realizado ao longo do artigo.

REFERÊNCIAS

AGENDA 2030. **Plataforma Agenda 2030**. Disponível em: <http://www.agenda2030.com.br>. Acesso em: 6 jan. 2021.

ARCHER, B. Design as a Discipline. In: **Design Studies**, v. 1, n. 1, jul. 1979. Disponível em: shorturl.at/rtyAW. Acesso em: 8 jan. 2021.

ARENDT, H. **A Condição Humana**. 13a ed. São Paulo: Forense. 2016.

BBC. Como falar sobre vacinas com quem não quer se imunizar. In: **BBC Future**. 21 dez. 2021a. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/internacional-59735403>. Acesso em: 10 jan. 2021.

BBC. Imunidade de rebanho: por que a OMS descarta alcançar imunidade coletiva contra Covid-19 em 2021, mesmo com vacinas. In: **BBC News Mundo**. 11 jan. 2021b. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-55630610>. Acesso em: 12 jan. 2021.

BBC. Vacina para Covid: que países aplicaram as 2 bilhões de doses fabricadas até agora? In: **Serviço Mundial da BBC**. 2 jun. 2021c. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/internacional-57314367>. Acesso em: 4 jul. 2021.

BECKERT, C. **Ética**. Lisboa: Centro da Universidade de Lisboa. 2012.

BUCHANAN, R. Wicked Problems in Design Thinking. In: **Design Issues**, v. 8, p. 5-21, 1992. Disponível em: shorturl.at/cuyLM. Acesso em: 10 jan. 2021.

CAPRA, F.; LUISI, P. L. **A visão sistêmica da vida: uma concepção unificada e suas implicações filosóficas, políticas, sociais e econômicas**. São Paulo: Cultrix. 2014.

CARSON, R. **Silent Spring**. Boston: Houghton Mifflin Company. 1962.

CASTANHEIRA, N. P. Youth Movements, Civil Disobedience, and the Skandalon of the Ecological Crisis. In: **Veritas**, v. 65, n. 3, p. 1-18, 2020.

CHAVES, I. G. O. **Design Centrado no Humano, Conectado e Colaborativo**. Tese Doutorado em Arquitetura e Urbanismo. USP. 2019.

COUNCIL DESIGN. Disponível em: <https://www.designcouncil.org.uk/>. Acesso em: 12 jan. 2021.

CROSS, N. Designerly ways of knowing. In: **Design Studies**, v. 3, n. 4, p. 221-227, 1982. Disponível em: shorturl.at/Maejr. Acesso em: 10 jan. 2021.

CROSS, N. **Desenhante**. Trad. Lígia Medeiros. Santa Maria: sCHDs. 2004.

CSIKSZENTMIHALYI, M. **The Evolving Self – A Psychology for the third Millennium**. Nova York: Harper Perennial. 1993.

DESIS. **Design for Social Innovation towards Sustainability**. Disponível em: <https://www.desis-network.org/>. Acesso em: 10 jan. 2021.

DOMINGUES, T. P. **Responsabilidade e Vida: A Ecologia Humana Fundamentada em Hans Jonas**. Brasília: Instituto Gewissen. 2006.

EVERLING, M. T.; CASTANHEIRA, N. P. Reflexões sobre cultura, design e reificação em condições de crise ecológica – Um diálogo com Hannah Arendt. In: CASTANHEIRA, Nuno Pereira. et. al. (Orgs). **Quem sou eu para julgar?: Diálogos com Hannah Arendt**. V. 2, Porto Alegre, RS: Editora Fundação Fênix, 2022. PP. 91-112.

EVERLING, M. T.; CASTANHEIRA, N. P. Da Condição Humana e do Princípio Responsabilidade ao Design orientado para condições de preservação de vida na Terra. In: CASTANHEIRA, N. P. et al. **Questões Ecológicas em Perspectiva Interdisciplinar**. Vol. 2. Porto Alegre, RS: Editora Fundação Fênix, 2022. PP. 95-110

EVERLING, M. T. KAHLMEYER-MERTENS, R. **De uma**

Fenomenologia do Design: uma Investigação sobre o Fundamento das Relações de Uso Face ao Propósito de Manutenção da Vida". In: Aceito para Mix Sustentável. No prelo.

EVERLING, M. T. Design e relações de uso à luz de A condição humana, de Hannah Arendt. In: STVDIVM. Org. Wagner Dalla Costa Felix *et al.* Volume IV. 2021. PP. 331-354.

EVERLING, M. T. Do design e de uma ética coerente à vida, um ensaio com Hans Jonas. In: Aoristo - International Journal of Phenomenology, Hermeneutics and Metaphysics, v. 5, n. 2. 2022. PP. p. 210–227.

EVERLING, M. T.; KAHLMEYER-MERTENS, R. Design, educação ambiental e ser-no-mundo: elementos para uma hermenêutica da complexidade e da sustentabilidade. In: Dossiê Nossa vida, nosso planeta, nossa saúde - **Revista Confluências Culturais**. v. 11 n. 2. 2022. PP. 58-71.

EVERLING, M. T., e KAHLMEYER-MERTENS, R. S. De Uma Fenomenologia do Design: Uma Investigação sobre o Fundamento das Relações de Uso Face ao Propósito de Manutenção da Vida: Resumo de pós-doutorado. **IX Sustentável**, 9(3). 2023. 201–202. <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n3.201-202>.

EVERLING, M. T., e KAHLMEYER-MERTENS, R. S. A Manifestação de "Mundo Artificial" em Hannah Arendt e no Campo do Design. In: **Estudos em Design** v. 31, n. 2 .2023. PP. 6-20.

FRANCO, J. L. A. O conceito de biodiversidade e a história da biologia da a história da biologia da conservação: da preservação da wilderness à conservação da biodiversidade. In: **História** (São Paulo) v.32, n.2, p. 21-48, jul./dez. 2013. PP. 21 – 48.

FREIRE, P. A **Pedagogia da Autonomia: Saberes Necessários à Prática Educativa**. São Paulo: Paz e Terra. 1996.

GOMES, L. **Desenhismo**. Santa Maria: sCHDs. 1996.

GUARDIAN. Yuval Noah Harari: 'I wish I had come out when I was 16 or 17, and not 21'. In: **The Q&A – Life and style**. 23 out. 2021. Disponível em: https://www.theguardian.com/lifeandstyle/2021/oct/23/yuval-noah-harari-i-wish-i-had-come-out-when-i-was-16-or-17-and-not-21?fbclid=IwAR39stZ4fp2Avg_grjlc24wd-j30bn1hza-ullR2fKsuNuUw1FE_9JQ9ZSgA. Acesso em: 10 jan. 2021.

the-guardian.com/lifeandstyle/2021/oct/23/yuval-noah-harari-i-wish-i-had-come-out-when-i-was-16-or-17-and-not-21?fbclid=IwAR39stZ4fp2Avg_grjlc24wd-j30bn1hza-ullR2fKsuNuUw1FE_9JQ9ZSgA. Acesso em: 10 jan. 2021.

HARARI, Y. Sapiens: **A Brief History of Humankind**. Nova York: Harper Perennial. 2014.

IRWIN, T. Transition Design: A Proposal for a New Area of Design Practice, Study, and Research. In: **Design and Culture**, v. 2, n. 7, p. 229-246, 2015. Disponível em: shorturl.at/etHT7. Acesso em: 10 jan. 2021.

JACOBS, J. **The Death and Life of Great American Cities**. Nova York: Vintage Books. 1961.

JONAS, H. **O Princípio Responsabilidade – Ensaio de uma Ética para a Civilização Tecnológica**. Rio de Janeiro: PUC-RIO. 2006.

LEE, J. **Against Method: The Portability of Method in Human-Centered Design**. 2012. Disponível em: <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/1146>. Acesso em: 29 jun. 2018.

LOVELOCK, J. **Gaia – A New Look at Life on Earth**. Oxford: Oxford University Press. 1979.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C. **Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis: Os Requisitos Ambientais dos Produtos Industriais**. São Paulo: Edusp. 2002.

MOREIRA, B. R.; BERNARDES, M. M. S.; ALMENDRA, R. A. Gestão do design na prática: discussão dos fatores humanos e processuais envolvidos. In: **Gestão e Tecnologia de Projetos**, v. 13, n. 1, p. 59-74, 2018. Disponível em: shorturl.at/begDH. Acesso em: 8 jan. 2021.

NORMAN, D. **O Design do Dia-a-dia**. Rio de Janeiro: Rocco. 2006.

PAPANEK, V. **Designing for the Real World**. 3a. ed. Londres: Thames e Hudson. 2019.

PAPANEK, V. **The Green Imperative: Ecology and Ethics in Design and Architecture**. Londres: Thames e Hudson. 1995.

RITTEL, H.; WEBBER, M. Dilemmas in a General Theory of Planning. In: **Policy Sciences**, v. 4, n. 2, p. 155-169, 1973. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/4531523>. Acesso em: 10 jan. 2021.

SANDERS, E. From user-centered to participatory design approaches. In: FRASCARA, J. (Ed.). **Design and the social sciences**. Taylor & Francis Books Limited. 2002.

SCHNEIDER, B. Design - Uma Introdução. **O Design no Contexto Social, Cultural e Econômico**. São Paulo: Blucher. 2010.

SCHWEITZER, E. R. **Reverence of life**. Nova York: Harper & Row Publishers. 1969.

TARTAS, D.; MERINO, E.; MERINO, G.; FORCELLINI, F. Uma análise bibliográfica e histórica entre serviços e design de serviços. In: **Da Pesquisa**, v. 11, n. 17, 2016. Disponível em: shorturl.at/pyCMV. Acesso em: 10 jan. 2021.

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME (UNDP). **The Next Frontier – Human Development and the Anthropocene**. Nova York: United Nations Development Programme. 2020.

WAHL, D. C. **Designing Regenerative Cultures**. Triarchy Press. 2016.

WESTPHAL, E. R. **Ciência e Bioética: um olhar teológico**. São Leopoldo: Sinodal. 2009.

WESTPHAL, E. R. Quem Merece Viver e Quem Merece Morrer: Dilemas Éticos em Tempos de Pandemia da Covid-19. In: **Estudos Teológicos**, v. 60, n. 2, p. 573-585, 2020. Disponível em: <http://periodicos.est.edu.br> > ... > Westphal. Acesso em: 20 abr. 2020.

WDO. **World Design Organization**. Disponível em: wdo.org. Acesso em: 20 abr. 2020.

AUTORES

ORCID: 0000-0002-1310-9502

MARLI TERESINHA EVERLING, Dra. | Universidade da Região de Joinville -Univille | Programa de Pós-Graduação em Design - Joinville -SC | Correspondência: Rua dos ciclistas, 90, Bairro Bom Retiro 89222-530 Joinville, SC E-Mail: marli.everling@gmail.com | <http://lattes.cnpq.br/4689296432125391>

ORCID: 0000-0002-4891-8692

EULER RENATO WESTPHAL, Dr. | Universidade da Região de Joinville -Univille | Programa de Pós-Graduação em Patrimônio Cultural e Sociedade- Joinville -SC | Correspondência: Rua Estefano Weiler, 18 Bairro Colonial 89288-165 São Bento do Sul-SC E-Mail: eulerwestphal@gmail.com | <http://lattes.cnpq.br/1616915166013370>

COMO CITAR ESTE ARTIGO

EVERLING, Marli Teresinha; WESTPHAL, Euler Renato. **MIX Sustentável**, v. 9, n. 5, p. 141-154, 2023. ISSN 2447-3073. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: [_/_/_doi: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n5.141-154>](https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n5.141-154).

SUBMITTED AT: 26/12/2022

ACCEPTED AT: 23/04/2023

PUBLISHED AT: 31/10/2023

RESPONSIBLE EDITORS: José Manuel Couceiro Barosa Correia Frade e Paulo Cesar Machado Ferroli.

Record of authorship contribution:

CRedit Taxonomy (<http://credit.niso.org/>)

MTE: Theoretical foundation, design conceptualization; triangulations between design, pedagogy, psychology, history, philosophy and environmentalist knowledge.

ERW: Advice, supervision and review related to the theoretical foundation related to philosophy; triangulations related to design, bioethics and reverence for life.

Synthesis, review and editing.

Declaração de conflito: nada foi declarado.

USE OF ACOUSTIC TOMOGRAPH FOR DETECTING INTERNAL FAULTS IN WOODEN PARTS

USO DE TOMÓGRAFO ACÚSTICO PARA DETECÇÃO DE FALHAS INTERNAS EM PEÇAS DE MADEIRA

USO DE TOMÓGRAFO PARA DETECTAR DEFECTOS INTERNOS EN PIEZAS DE MADERA.

MATHEUS BARRETO DE GÓES, Msc. | UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil.

EDGAR VLADIMIRO MANTILLA CARRASCO, Dr. | UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil.

ADRIANA BRAGA GUIMARÃES | UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil.

ABSTRACT

The ArborSonic3D acoustic tomograph is a device that performs analysis of cross sections of wooden elements in a non-destructive way. The present work shows the application of this device as a method of identifying internal flaws in five specimens of four different species of wood, namely Garapa, Pinus, Roxinho, and two elements of Maçaranduba. The use of the tomograph generates results in tomograms and graphs that allow identifying that the visual appearance of the specimens is consistent with their internal state. The compatibility of these results show the potential of using this non-destructive technique to be used on living elements, without the need to fell trees for analysis, thus being able to diagnose trees with structural failures and help in the safety management of public or forest areas.

KEYWORDS

Acoustic tomograph; non-destructive techniques; woods; internal flaws.

RESUMO

O presente trabalho mostra a aplicação de uma técnica não destrutiva como método de identificação de falhas internas em cinco corpos de prova de quatro espécies diferentes de madeira, sendo elas Garapa, Pinus, Roxinho, e dois elementos de Maçaranduba. Esta técnica contemplou o uso de um tomógrafo acústico (ArborSonic 3D) que permitiu a obtenção de tomogramas que possibilitaram analisar a seção transversal dos corpos de prova avaliadas. Os resultados obtidos permitiram identificar que a aparência visual dos corpos de prova é condizente com o seu estado interno. Esses resultados mostram o potencial do uso dessa técnica não destrutiva em corpos de prova, e plantios florestais, contribuindo para a necessidade de caracterização da madeira em pé, para todos os tipos de plantio.

PALAVRAS-CHAVE

Tomógrafo acústico; ensaio não destrutivo; madeiras; falhas internas

RESUMEN

Este trabajo muestra la aplicación de una técnica no destructiva como método de identificación de defectos internos en cinco ejemplares de cuatro especies diferentes de madera: Garapa, Pinus, Roxinho y dos piezas de Maçaranduba. Esta técnica utilizó un tomógrafo acústico (ArborSonic 3D) para obtener tomogramas que permitieron analizar la sección transversal de los ejemplares evaluados. Los resultados obtenidos mostraron que el aspecto visual de los



especímenes es coherente con su estado interno. Estos resultados muestran el potencial de la utilización de esta técnica no destructiva en ejemplares y plantaciones forestales, contribuyendo a la necesidad de caracterizar la madera en pie para todo tipo de plantaciones.

PALABRAS CLAVE

Tomografía acústica; ensayos no destructivos; madera; defectos internos.



1. INTRODUCTION

The presence of trees in an urban environment offers a range of environmental, economic, health, and well-being advantages. Trees play a role in filtering air pollution, absorbing oxygen, regulating air temperature, controlling humidity, as well as mitigating rainwater runoff and absorbing sound noise. Studies confirm that the presence of trees can reduce energy consumption for fans and air conditioners, extend the lifespan of asphalt, and increase property values. Trees are also associated with leisure, stress reduction, and social well-being (TZOULAS; JAMES, 2004). These benefits are enhanced by the tree's structure: the more mature and developed the tree, the more beneficial it is, and consequently, the greater the damage in case of structural failures and branch or tree falls (DURYEA; MALAVASI, 2021).

McPherson et al. (2005), in their study, address the benefits and costs of urban forests, including trees in cities, emphasizing the importance of assessing the phytosanitary and structural condition of urban trees to ensure public safety and the maintenance of environmental and social benefits. Specifically, it is noted that urban trees can provide environmental, economic, and well-being benefits but can also pose risks, such as falling branches or entire trees, which can be dangerous to people and nearby properties.

The management of risks involving urban trees increasingly demands the adoption of technologies to analyze and prevent the risk of falling. Urban trees reach significant sizes, and over the years, the risk of rot and insect infestation increases, exacerbated by interference from urban equipment. Therefore, it is necessary to take measures to assess trees in public spaces to investigate their phytosanitary and structural condition, developing a risk assessment and mitigation plan (CHIESURA, 2010).

To carry out such assessment measures, it is possible to use devices that monitor wood from planting and allow the detection of defects during growth, such as knots, cracks, internal, and external faults. Currently, acoustic instruments are being used to estimate the internal properties of tree trunks. Among the most commonly used equipment for non-destructive assessment is the acoustic tomograph (Arbosonic 3D), which can detect invisible holes, rot, or deterioration inside the trunk of a standing tree from images called tomograms. The main advantages of using non-destructive methods in assessing wood properties compared to conventional methods are the speed of application, reliability of results, reduction of losses

in the evaluated material, and cost reduction (ANGULO-RUIZ et al., 2021).

In this sense, this study focuses on the use of an acoustic tomograph on specimens of various wood species to verify internal faults. The non-destructive assessment technique can be used in various areas, including the furniture industry, construction, paper, and pulp production, as well as cultural heritage preservation. Additionally, the research can contribute to improving the management of risks involving urban trees, ensuring greater safety and well-being for the population.

2. MATERIALS AND METHODS

All tests were conducted in the Laboratory of Architecture and Urbanism Technology located at the School of Architecture and Urbanism of the Federal University of Minas Gerais in Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil.

2.1. Acoustic Tomograph

The study utilized an ArborSonic 3D acoustic tomograph. This equipment is composed of several components: sensors for positioning around the circumference of trees or test specimens, amplifier boxes that enable the interconnection between the sensors, connecting cables, and a battery that allows the amplifier boxes to be connected to a computer (ANGULO-RUIZ et al., 2021).

The ArborSonic 3D acoustic tomograph is used in practice to diagnose latent, internal damage in living trees and wood samples. The method is non-destructive, meaning it involves minimal interventions in the wood. The process involves measuring the time interval required for sound waves to travel through the wood of a tree component or wooden element, providing information about its structural and mechanical properties. A longer propagation time of sound waves indicates the presence of internal biotic damage, such as cavities in a tree trunk, which can be detected by analyzing variations in the temporal profile of the propagated acoustic waves.

The sensors are steel nails hammered into a wooden element around its perimeter at regular intervals. Hammering a sensor creates sound waves whose speed is recorded by another sensor (Figure 1). The sensors are hammered to a depth of about 15 mm, meaning the sonic scan of a specific section of the measured element is miniaturized when compared to its actual dimension (MAKÝŠ et al., 2018).

In general, the denser the wood, the higher the sound

velocity. If the wood's moisture content is higher, sound waves pass through it more slowly because the capillaries contain water instead of air. This results in greater

resistance to sound waves. The velocity of sound waves within healthy wood depends on its species, moisture content, and measurement direction.



Figure 1: Path followed by the sound wave inside the wood.
Source: Fakopp (2020).

For the device to operate correctly, it is necessary to position the sensors correctly and establish the shape of the element to be measured. There are possibilities for circular, elliptical, rectangular, and irregular shapes. After this information, the software provides the positioning of the sensors and the distance of each one from sensor 1 in a counterclockwise direction. The sensors are connected to their respective amplifier boxes, which are numbered and connected to each other through connecting cables. The last box is connected to the battery, which is connected to the computer via a USB cable or Bluetooth (Figure 2). The next step is to enter data about the material to be examined into the software interface (FAKOPP, 2020).

2.1. Acoustic Tomograph

The elements used in the development of this study consisted of 5 test specimens of different wood species, divided as follows: Garapa, Roxinho, Pinus, and two units of Maçaranduba. All test specimens have dimensions of approximately 15 cm (15 cm length x 15 cm width x 15 cm height), as shown in figure 3.

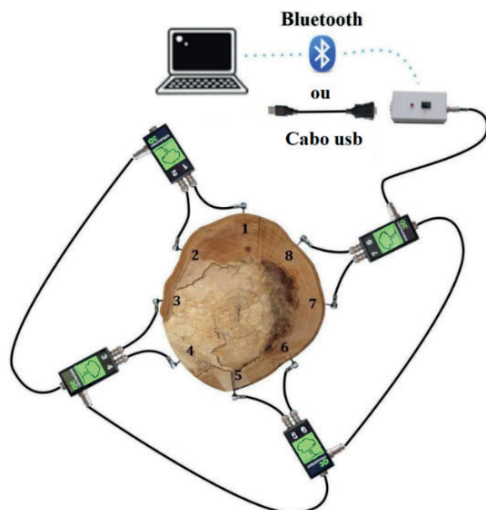


Figure 2: Acoustic Tomograph Setup Diagram.
Source: Fakopp (2020).

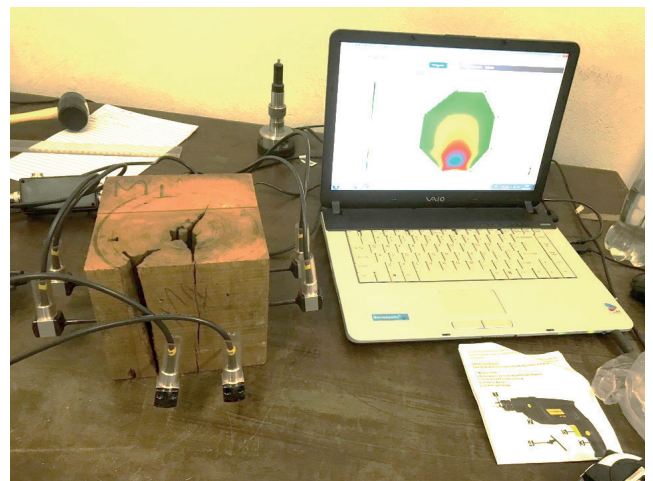


Figure 3: Example of a test specimen used for the test.
Source: Image of authors (2022).

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

The test specimens used in the experiments exhibit some flaws and were chosen with the intention of confirming whether the acoustic tomograph is capable of accurately providing information about the internal state of pieces

that can be visually observed.

All five test specimens were drilled at a height of 12 cm from the base to accommodate the sensor placement. When launching the software and specifying the dimensions and shape of the pieces to be examined, the software provides the measurements at which each sensor should be positioned. Figure 4 illustrates the sensor distribution on the Maçaranduba piece.

The first field, titled "Layer Name," allows for an analysis of various heights of pieces. In the case of living trees, for this study, an analysis of only one layer was conducted. The field called "Plane" refers to the specific height from the base of the analyzed piece. In this study, a height of 12 cm was defined.

The "Sensor Distances" field specifies, starting from sensor 1 marked as the initial point, the distance at which each sensor should be placed counterclockwise. For example, sensor 2 is located 4.8 cm from sensor 1, sensor 3 is located 14.2 cm from sensor 1, and so on.

In the other fields located vertically on the left side of the screen, you can specify the shape of the element to be analyzed. In this case, a rectangular shape was chosen, and 8 sensors were used. For analyses of trees and samples with larger diameters, it's possible to increase the number of sensors to achieve better spatial and temporal resolution of the physical and mechanical properties of the object under examination.

In the "Valid Spatial Data" field, the length and width dimensions (A and B) are provided, along with the number of sensors on each side, which is 2 (ASC and BSC). The "PD" field requires you to input the penetration depth of each sensor used; in this case, a depth of 1.5 cm was used. Finally, the "BT" field requests the approximate bark thickness of the tree. Since these tests were conducted on sawn wood test specimens, the bark thickness was 0.0.

After distributing the sensors and inputting the data into the software, the next step is to strike each sensor with a hammer. These strikes transmit sound waves that are captured by the opposite sensors. Three uniform strikes are required on each sensor. The result of the analyzed tomogram can be represented in a graph or 2D and 3D maps. Since this is a single-layer evaluation, the visualization in a 2D map makes it easier to observe internal flaws in each analyzed element.

The result maps present a graphical representation with colors ranging from light blue to dark green. The vertical chart on the left side of figure 5 provides information about the wave travel velocity inside the piece. The green portions represent healthy and compact wood, where waves travel at higher speeds. In contrast, the red and blue areas represent lower speeds, indicating where the sound wave encountered difficulties in traveling, which may represent hollow spaces or internal wear.

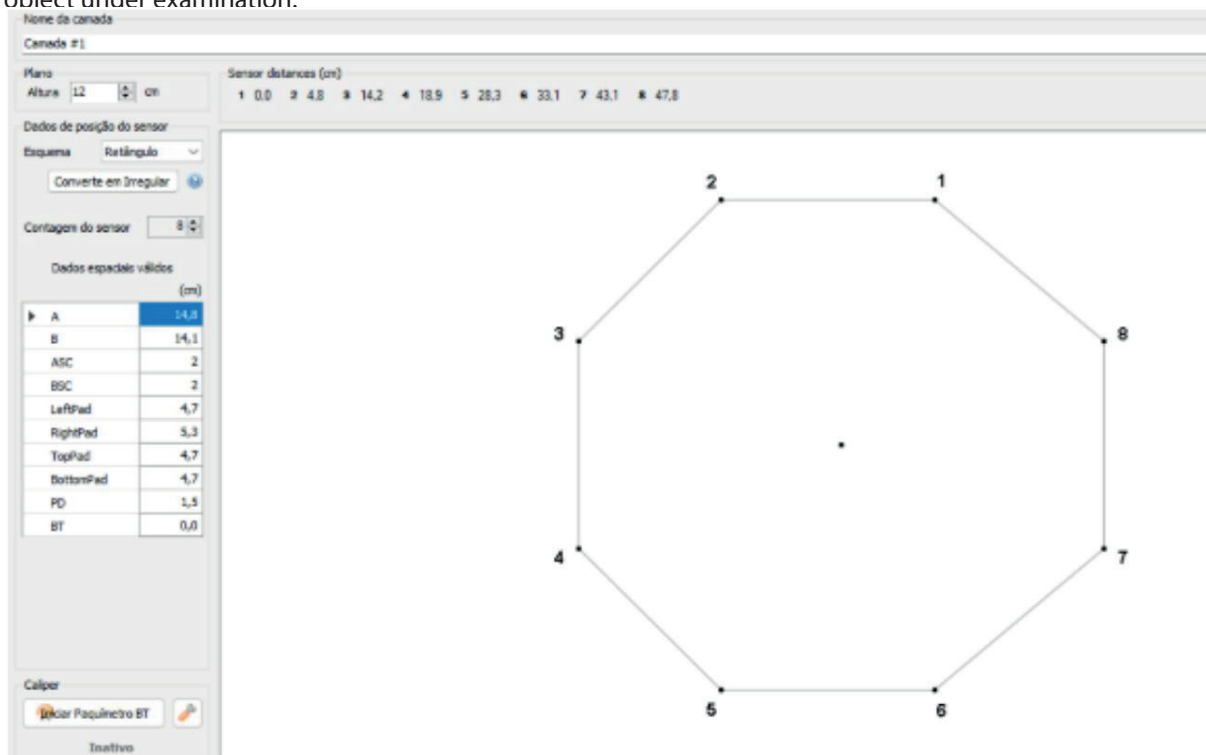


Figure 4: Software Interface Demonstration.
Source: Test realized by software Arborsonic3D (2022).

Figure 5 represents the result obtained for the test of the Garapa wood piece. By examining the shape found in the software, it is possible to observe that the entire internal part of the piece has a high frequency of wave transmission, indicating that there are no internal structural flaws.

Figure 6 represents the tomogram of the Pinus wood, where it is possible to observe a decrease in wave velocity near sensors 5 and 6, represented by the colors red and blue. This representation indicates that the wood is slightly deteriorated at these points. The software indicates that the area represented in red accounts for a total of 5% of the piece.

Figure 7 presents a comparison between the original

piece of *maçaranduba* (element 1) and its respective tomogram. This specimen was intentionally abraded in the central part with a hole made by a drill, to simulate an internal failure. In the software representation, it is possible to observe that the external part presents a green, uniform surface, and in the center where the hole exists, the representation is in red, which is not the most critical state that can be reported by the software. This is because the hole made did not exceed the entire length of the piece, going only from the top to the middle. Therefore, the sound waves can bypass the hole, either on the sides or underneath it. The area in red shows a deterioration percentage of 24% according to the software.

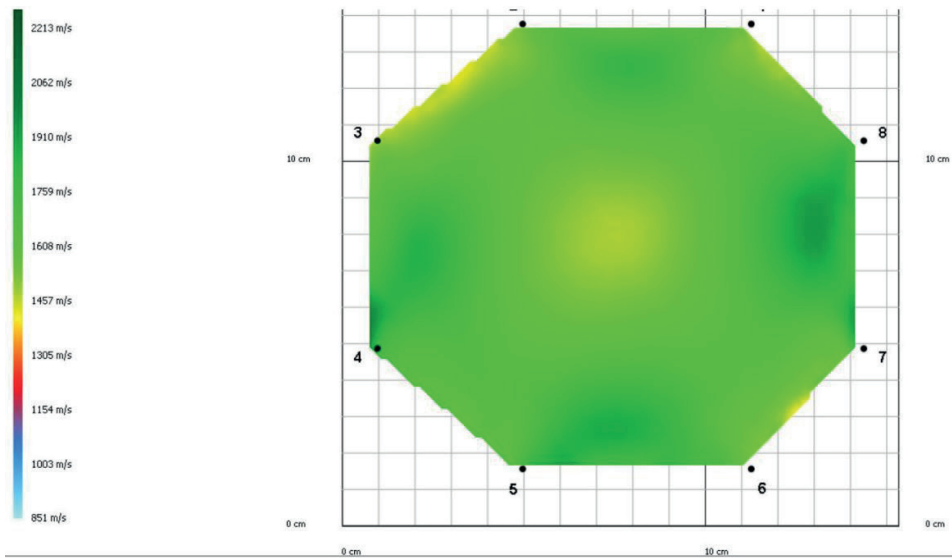


Figure 5: The tomogram result for Garapa wood.
Source: Test realized by software Arborsonic3D (2022).

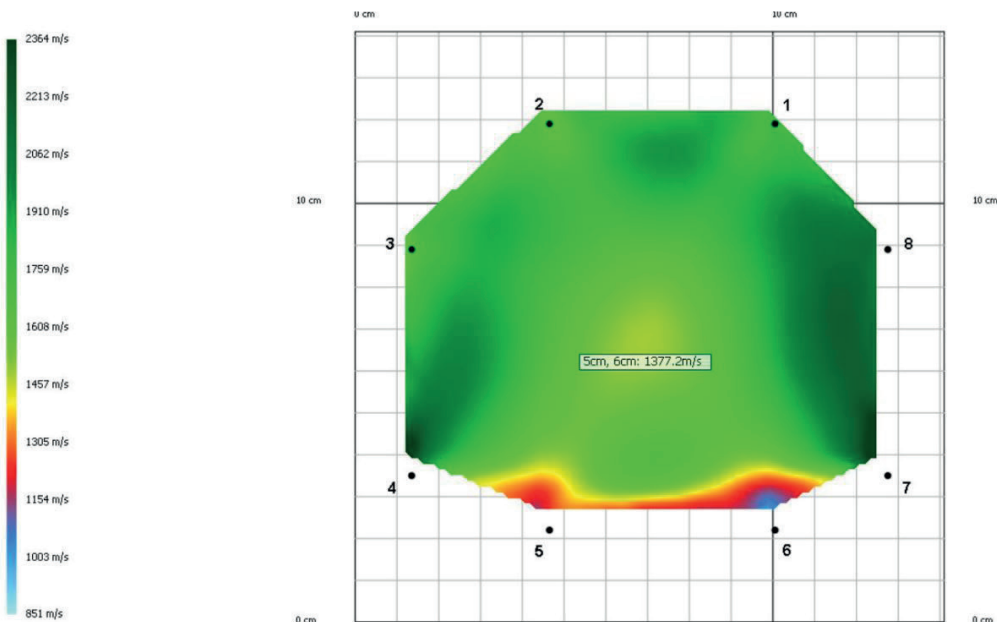


Figure 6: The tomogram result for Pinus wood.
Source: Test realized by software Arborsonic3D (2022).

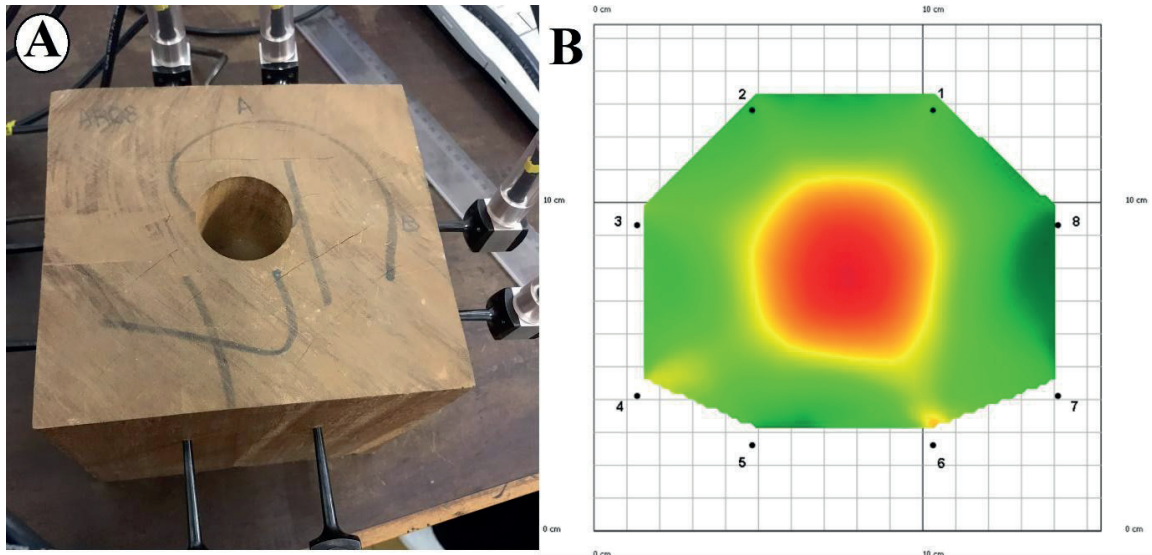


Figure 7: The tomogram result for Maçaranduba wood – Element 1.
Source: a) Image of the authors (2022); b) Test realized by software Arborsonic3D (2022).

Figure 8 represents the second Maçaranduba element and its tomogram performed. Using the color scale fund in the tomogram wich goes from green to blue, it can be concluded that at the points between sensors 5 and 6 the waves have a very low propagation speed, this representation indicates that the part has very serious flaws.

This can be confirmed by looking at the photograph of the piece that shows flaws on the sides with an empty part, close to the center.

The software indicates that this piece has an area of 29% degradation.

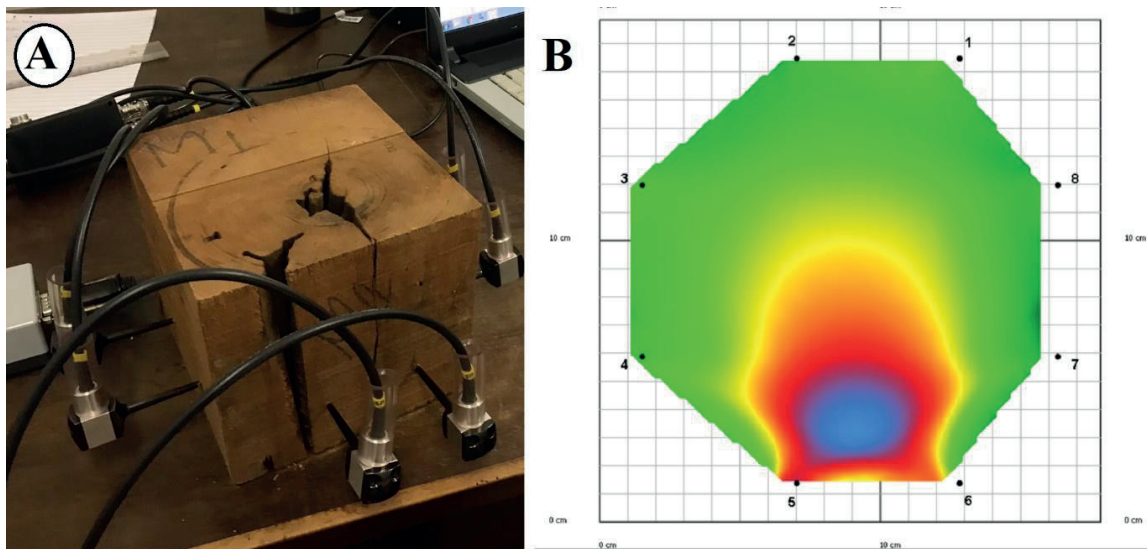


Figure 8: The tomogram result for Maçaranduba wood - Element 2.
Source: a) Image of the authors (2022); b) Test realized by software Arborsonic3D (2022).

Figure 9 shows the Roxinho wood piece and its corresponding tomogram. This piece was also intentionally drilled internally, similar to figure 7, but the hole extends through the entire piece from top to bottom.

an area that is hollow inside a tree. The software indicates that this test specimen has a deterioration of 32%.

In the tomogram, it is possible to observe that the edges remain in green, the middle part in red, and the center of the piece in blue, where the flaw is more pronounced. In practice, this representation is intended to symbolize

For all tomography results where situations of more deteriorated wood, as seen in images 7, 8, and 9, it is possible to compare them with the real image of the pieces and conclude that the assessment made by the tomograph is consistent with the actual condition of the piece.

Studies conducted by Kloiber et al. (2016) have

demonstrated that broadband acoustic devices, such as the tomograph used in this study, are more suitable for estimating damage to the internal parts of wood than narrowband devices. However, other studies by Cristini et al. (2021) report that there are no statistically significant differences between the speeds measured by different tomograph devices.

Cristini et al. (2021) also point out that for an analysis of living trees, it is necessary to take the tomogram results, such as natural imperfections in the wood, fiber deflection, knots, as well as the quality of the wood surface, including roughness and the presence of microcracks. The correct shape, type, frequency, and orientation of the acoustic sensors also play a significant role in obtaining accurate results.

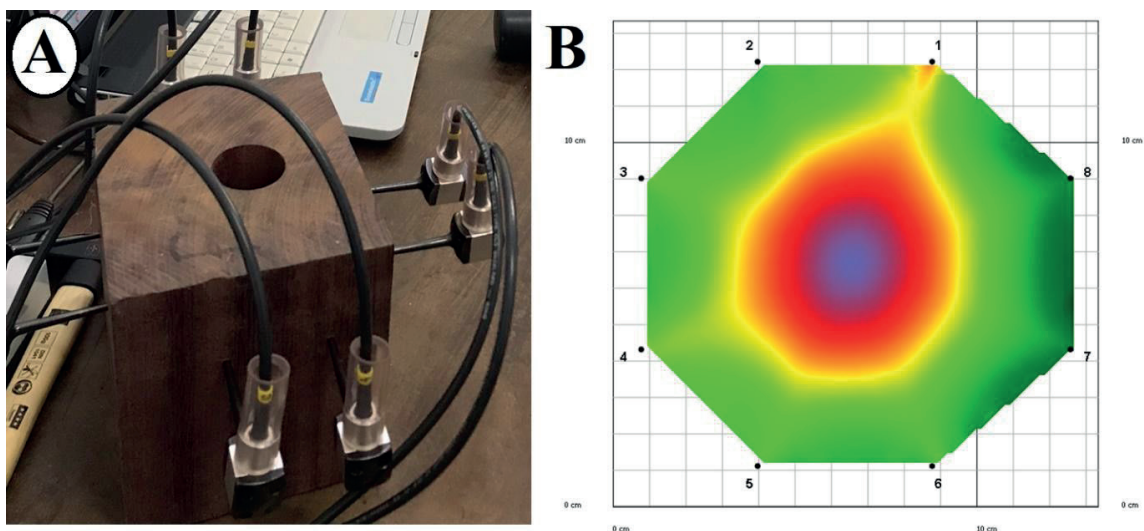


Figure 9: The tomogram result for Roxinho wood
Source: a) Image of the authors (2022); b) Test realized by software Arborsonic3D (2022).

4. CONCLUSION

The knowledge of the technical conditions of wooden elements is crucial to ensure the safety of wooden structures and trees located in public areas. This article discusses the use of acoustic tomography for detecting internal flaws in wooden pieces.

Acoustic evaluation methods provide relatively fast, simple, and accessible results for identifying defects in the examined wood. Their successful application in detecting biologically damaged wood can yield significant results for safety in public areas.

The analysis of test specimens with varying degrees of deterioration demonstrated that the device is efficient in confirming internal flaws in each piece. However, evaluating more complex wood species requires a more comprehensive analysis, taking into account a wider range of factors.

REFERENCES

- ANGULO-RUIZ, W. E. et al. **Non-destructive technique based on acoustic tomography for the identification of internal defects in trees.** Scientia Agropecuaria, february 2021. 65-71.
- CHIESURA, A. **Verso una gestione ecosistemica delle aree verdi urbane e peri-urbane** - Analisi e proposte. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. Roma, p. 58. 2010.
- CRISTINI, V. et al. **Comparison of Variability in Results of Acoustic Tomographs in Pedunculate Oak** (*Quercus robur* L.). Bioresources, 16, n. 2. 3046-3058. 2021.
- DURYEA, M. L.; MALAVASI, M. M. **How Trees Grow in the Urban Environment.** University of Florida - Institute of Food and Agricultural Sciences. Florida, p. 1-9. 2021. (CIR 1093).
- FAKOPP. **Manual for the Arborsonic3D Acoustic Tomograph.** Fakopp Enterprise BT. Agfalva, Hungary, p. 64. 2020.

KLOIBER, M. et al. **Comparative evaluation of acoustic techniques for detection of damages in historical wood.** *Journal of Cultural Heritage*, 20, 2016. 622–631.

MAKÝŠ, O. et al. **DIAGNOSTICS OF WOODEN POLES SITUATED IN THE OPEN - AIR MUSEUM USING SONIC TOMOGRAPHY.** *Civil and Environmental Engineering*, 14, n. 1, 2018. 54-60.

MCPHERSON, E.G.; SIMPSON, J.R.; PEPER, P.J.; MACO, S.E.; XIAO, Q. 2005. Municipal forest benefits and costs in five U.S. cities. *Journal of Forestry*. 103(8): 411-416.

TZOULAS, K.; JAMES, P. **Finding links between urban biodiversity and human health and well-being.** In: 4th International postgraduate research conference in the built and human environment. University of Salford. Manchester, p. 208-217. 2004.

AUTHORS

MATHEUS BARRETO DE GÓES, Mestre. | UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais | Rua Paraíba, 697 - Savassi Belo Horizonte, Minas Gerais - Brasil CEP: 30130-141 | Email: matheusbarretog@hotmail.com

EDGAR VLADIMIRO MANTILLA CARRASCO, Doutor. | UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais | Rua Paraíba, 697 - Savassi Belo Horizonte, Minas Gerais - Brasil CEP: 30130-141 | Email: mantilla.carrasco@gmail.com

ADRIANA BRAGA GUIMARÃES, Arquiteta e Urbanista. | UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais | Rua Paraíba, 697 - Savassi Belo Horizonte, Minas Gerais - Brasil CEP: 30130-141 | Email: dribragag@gmail.com

HOW TO CITE THIS ARTICLE

GÓES, Matheus Barreto de; CARRASCO, Edigar Vladimiro Mantilla; GUIMARÃES, Adriana Braga. Use of acoustic tomograph for detecting internal faults in wooden parts. **MIX Sustentável**, v. 9, n. 5, p. 155-163, 2023. ISSN 244-73073. Available in: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Access in: DD/MM/YYYY doi: <<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n5.155-163>>.

SUBJECTED IN: 13/01/2023

ACCEPTED IN: 15/09/2023

PUBLISHED IN: 30/10/2023

RESPONSIBLE EDITOR: Lisiane Ilha Librelotto e Paulo Cesar Machado Ferroli

Record of authorship contribution:

MBG: Formal analysis, validation, visualization, writing – original draft and writing – review & editing.

EVMC: Conceptualization, methodology, project administration and supervision.

ABG: Data curation, formal analysis and investigation.

Conflict declaration: nothing has been declared.

SPATIAL DISTRIBUTION AND TEMPORAL TRENDS IN RAINFALL IN MATO GROSSO DO SUL, BRAZIL

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TENDÊNCIAS TEMPORAIS DE PRECIPITAÇÃO NO MATO GROSSO DO SUL, BRASIL

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TENDENCIAS TEMPORALES DE LA PRECIPITACIÓN EN MATO GROSSO DO SUL, BRASIL

IZABEL RODRIGUES LEITE, M.Sc. | UFMS - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.

LUIZ FELIPE FINCK, M.Sc. | UFMS - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.

ALESKA KAUFMANN ALMEIDA, Ph.D. | UFMS - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.

JOVANE MARTINS CORREA, M.Sc. | UFMS - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.

CÁSSIA MONTEIRO DA SILVA BURIGATO COSTA, Ph.D. | UFMS - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.

ISABEL KAUFMANN DE ALMEIDA, Ph.D. | UFMS - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.

ABSTRACT

Knowing the spatiotemporal patterns of precipitation is essential to quantify water supply, flood control, soil erosion, and the possibility of drought in a particular region. In other words, temporal and spatial analysis of precipitation is very important for water resources management. In addition, rainfall is the most important climatological variable in the tropical region. Although an increase in problems related to extreme rainfall events has occurred over the last several decades in Brazil, few studies have been conducted investigating rainfall trends in this country. Therefore, the objective of this work was to evaluate the spatial and temporal variability of rainfall in Mato Grosso do Sul State (Brazil), during the dry season (May to September) and rainy season (October to April) over four decades. For that, initially, a linear regression analysis was applied to identify the direction of the monotonic tendency of the precipitation. Next, the trends were investigated using the nonparametric Mann-Kendall trend method. The Pettitt test was also employed to identify any changes in the time series of precipitation. For the spatial distribution of rainfall data, the Ordinary Kriging was used. The results demonstrated that the Western region of the State (Pantanal South-Mato-Grossense) showed a significant negative trend of precipitation in the rainy season.

KEYWORDS

Spatiotemporal analysis; precipitation pattern; temporal variability; tropical region; trend analysis.

RESUMO

Conhecer os padrões espaço-temporais de precipitação é essencial para quantificar o abastecimento de água, o controle de enchentes, a erosão do solo e a possibilidade de seca em uma determinada região. Em outras palavras, a análise temporal e espacial da precipitação é muito importante para a gestão dos recursos hídricos. Além disso, a precipitação é a variável climatológica mais importante na região tropical. Embora um aumento nos problemas relacionados a eventos extremos de chuva tenha ocorrido nas últimas décadas no Brasil, poucos estudos foram conduzidos investigando as tendências de chuvas neste país. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial e temporal das chuvas no estado de Mato Grosso do Sul (Brasil), durante a estação seca (maio a setembro) e



chuvosa (outubro a abril) ao longo de quatro décadas. Para isso, inicialmente, foi aplicada uma análise de regressão linear para identificar a direção da tendência monotônica da precipitação. Em seguida, as tendências foram investigadas usando o método de tendência não paramétrico de Mann-Kendall. O teste de Pettitt também foi empregado para identificar eventuais mudanças nas séries temporais de precipitação. Para a distribuição espacial dos dados pluviométricos, foi utilizada a Krigagem Ordinária. Os resultados demonstraram que a região oeste do estado (Pantanal sul-mato-grossense) apresentou tendência negativa significativa de precipitação no período chuvoso.

PALAVRAS-CHAVE

Análise espaço-temporal; padrão de precipitação; variabilidade temporal; região tropical; análise de tendências.

RESUMEN

Conocer los patrones espacio-temporales de las precipitaciones es fundamental para cuantificar el suministro de agua, el control de inundaciones, la erosión del suelo y la posibilidad de sequía en una región determinada. En otras palabras, el análisis temporal y espacial de la precipitación es muy importante para la gestión de los recursos hídricos. Además, la precipitación es la variable climatológica más importante en la región tropical. Aunque en las últimas décadas se ha producido un aumento de los problemas relacionados con eventos extremos de lluvia en Brasil, se han realizado pocos estudios que investiguen las tendencias de las precipitaciones en este país. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar la variabilidad espacial y temporal de las precipitaciones en el estado de Mato Grosso do Sul (Brasil), durante la estación seca (mayo a septiembre) y la estación lluviosa (octubre a abril) a lo largo de cuatro décadas. Para lograr esto, inicialmente se aplicó un análisis de regresión lineal para identificar la dirección de la tendencia de la precipitación monótona. Luego, las tendencias se investigaron utilizando el método de tendencias no paramétrico de Mann-Kendall. También se utilizó la prueba de Pettitt para identificar posibles cambios en la serie temporal de precipitación. Para la distribución espacial de los datos de lluvia se utilizó el Kriging Ordinario. Los resultados demostraron que la región occidental del estado (Pantanal Sul-Mato Grosso) mostró una tendencia negativa significativa en las precipitaciones durante la temporada de lluvias.

PALABRAS CLAVE

Análisis espacio-temporal; patrón de precipitación; variabilidad temporal; región tropical; análisis de tendencia.



1. INTRODUCTION

Precipitation is the main input element of the water balance, in addition to being a fundamental factor in the occurrence of hydrological processes in a watershed. Thus, knowing the intensity, distribution, and frequency of precipitation enable quantification of water supply, flood control, soil erosion, and the possibility of drought in a particular region. In addition, this knowledge is essential for the effective engineering of hydraulic works. According to Shi *et al.* (2015), changes in precipitation spatiotemporal patterns have great impacts on drought/flood risk and utilization of water resources. Extreme-rainfall-related problems have become more of a concern over the last few decades because of increases in their intensity and frequency (Yilmaz and Perera 2015). Kysely (2009) affirmed that these changes can also very likely have serious effects on ecosystems, hydrology, and water resources.

Precipitation distribution during the year characterizes the climatic regime of a region. According to Longobardi *et al.* (2016), an unbalanced precipitation distribution determines the presence of seasons with an excessive precipitation and seasons during which a deficit occurs, with obvious implications for water resources management. According to Smalley and L'Ecuyer (2015), even if the monthly average volume or frequency of precipitation does not change in an area, changes in the spatial and temporal distribution may still be important for agriculture, flooding, and other hydrologic applications. Milly *et al.* (2008) emphasized that practical decision-making for infrastructure and land use under forecasts of increasing or decreasing precipitation volume can only be completed with this localized information.

Many studies have been conducted to investigate the temporal and spatial variability of precipitation around the world. Some examples can be shown from Africa (e.g., Oguntunde *et al.* 2011, Zhang *et al.* 2012, Nyeko-Ogiramoi *et al.* 2013, Sarr *et al.* 2013), America (e.g., Sahoo and Smith 2009, Nalley *et al.* 2012), Asia (e.g., Pal and Al-Tabbaa 2009, Cong *et al.* 2010, Hanif *et al.* 2013, Shi *et al.* 2015, Daneshmand and Mahmoudi 2017), Europe (e.g., Hidalgo-Muñoz *et al.* 2011, Dabanlı *et al.* 2016, Longobardi *et al.* 2016) and Oceania (e.g., Yilmaz and Perera 2015).

Zhang *et al.* (2012) evaluated the temporal and spatial variations of precipitation and examined the relationship of moisture flux and precipitation trends in Sudan during the period 1948–2005. The authors verified that annual and monthly precipitation had greater spatial variability,

and that precipitation of the main rainy season and annual total precipitation in the central part of Sudan significantly decreased during the analyzed period. Nalley *et al.* (2012) co-utilized the Discrete Wavelet Transform technique and the Mann–Kendall trend tests to analyze and detect trends in monthly, seasonally based, and annual data from seven meteorological stations in Southern Ontario and Quebec, Canada, during the period 1954–2008. The results showed that in general, intra and inter-annual events (up to 4 years) were more influential in affecting the observed trends.

Shi *et al.* (2015) performed a comparative analysis of spatial-temporal variability in precipitation during the period 1951–2010 in Southwest China and reported a significant seasonality of the rainfall distribution and quite inhomogeneous temporal distribution of the daily rainfall in the studied area. Hidalgo-Muñoz *et al.* (2011) investigated extreme precipitation events on the Southern Iberian Peninsula (Andalusia), Spain, using 86 stations with daily precipitation records for the period 1955–2006. The authors established seasonal and monthly trends for different extreme-precipitation indices. Both the stability and the significance of the trends were examined. The results indicated a significant spatial and seasonal variability. Yilmaz and Perera (2015) investigated the temporal and spatial variability of extreme rainfall in Victoria (Australia). They observed that increasing extreme rainfall trends occurred for short storm durations, whereas decreasing extreme rainfall trends were found for long storm durations.

Rainfall is the most important climatological variable in the tropical region. To understand the rainfall regime, studies are necessary that allow identifying homogeneous regions for the different meteorological elements. Although an increase in problems related to extreme rainfall events has occurred during the last several decades in Brazil, few studies have been conducted investigating rainfall trends in this country. Oliveira *et al.* (2021) analyzed the risks of extreme events occurred in the South region of Mato Grosso do Sul. The same authors affirm that tropical climate regions are characterized for their heavy rainfall events during the summer, and in recent years, as a result of climate change, such events are becoming recurrent. Thus, the objective of this work was to evaluate the spatial and temporal variability in rainfall during the period 1976–2016 in Mato Grosso do Sul State (Brazil) during the dry season (May to September) and rainy season (October to April). Another important point presented in this article is the detailed methodology of statistical analysis of trend of historical data series, as well as the spatial distribution

over the decades in dry and rainy periods.

2. METHODOLOGY

2.1. Study area

The study area is in a tropical region of the Brazilian territory, Mato Grosso do Sul State, located in the Brazilian Midwest (Figure 1). The total area of the State is approximately 357.125 km². The elevation of the State ranges from 200 to 600 m above sea level. The State territory is drained by the systems of the rivers Paraná, to the East, and Paraguay to the West. Most of the State is located in the Brazilian Cerrado region. In the Northwest and Western of the State is located 64.64% (89,318 km²) of the area of the largest floodplain on Earth, the Pantanal (Silva and Abdon 1998).

According to the Köppen Climate Classification model (Alvares *et al.* 2013), the Mato Grosso do Sul State includes four different climates: Af, Aw, Am and Cfa. Af is defined as a tropical, hot, without dry season. This climate, as well as Am and Aw, is characterized by temperatures that exceed 18°C during the winter season (June to August). Aw is defined as a tropical, hot, and humid climate. It features well-defined rainy periods (November to April) with a range of precipitation of 750–2.000 mm and pronounced drought from July to September. The annual average rainfall is 1.500 mm. Am is defined as tropical climate, and is characterized by a monsoon pattern with two distinct seasons, an extremely dry winter and a rainy summer. The annual average rainfall for this climate is up to 1.500 mm and the rainfall of the driest month is less than 60 mm. Cfa is a humid subtropical, oceanic climate, without dry season, with hot summer. The temperature of the hottest month is equal to or greater than 22°C. The monthly rainfall of the driest month is higher than 40 mm.

2.2. Rainfall data

Rainfall data were obtained through the Hydrological Information System of the National Water Agency (ANA-HidroWeb 2018). The spatial and temporal pattern of rainfall based on continuous observation of the monthly total records of 149 stations distributed by the State of Mato Grosso do Sul (Table 1), from 1973 to 2016, at regular intervals of 5 years, was analyzed. For the temporal evaluation of the rainfall, the year was divided into a dry season and rainy season and the mean annual precipitation was calculated for each of these two seasons. It should be

noted that the periods of record differ among the monitoring stations; the shortest length of record is 20 years (1992–2012), and the longest length of record is 43 years (1973–2016).

2.3. Trend Detection Methods

First, linear regression analysis (Adamowski *et al.* 2010, Zhang *et al.* 2012, Asadieh and Krakauer 2015) was applied in the time series only to identify the direction of the monotonic tendency of the precipitation. This method aimed to find a regression function that decreased the sum of the distances between the adjusted function and the observed data (Naghetini and Pinto 2007). According to Tabari and Talaei (2011), the main statistical parameter drawn from the regression analysis, slope, indicates the mean temporal change in the studied variable. Positive values of slope show increasing trends, while negative values of slope show decreasing trends. The estimated slopes were tested against the hypothesis of a null slope by means of a two-tailed T-test at a 0,05 significance level.

The trends in annual precipitation were investigated during the rainy season (October to April) and the dry season (May to September), using data from 149 stations, applying the nonparametric Mann-Kendall trend method (Mann 1945, Kendall 1975). This method has been widely used (Yue *et al.* 2002, Birsan *et al.* 2005, Shi *et al.* 2015, Yilmaz and Perera 2015, Longobardi *et al.* 2016) to assess the presence of significant trends in meteorological and hydrological time series. The Mann-Kendall test uses the order of all values to evaluate if there are more increasing or decreasing values in the data (Damberg and AghaKouchak 2014). The null hypothesis (H0) of the Mann-Kendall test is “there is no trend”. If the calculated z statistic is larger than the critical values (derived from normal distribution tables) at the specified significance levels, then H0 is rejected, and the alternative hypothesis (HA), which is “there is a trend” is accepted (Yilmaz and Perera 2014, 2015). In this study the test was conducted at a 0,05 significance level.

The Pettitt test (Pettitt 1979) was employed to identify any changes in the time series of precipitation. Using the Pettitt test, it is possible to identify the point at which a series of data is interrupted, leaving the data series before and after that point significantly different. The null hypothesis (H0) of this non-parametric test is that there is no break point, against the alternative hypothesis (HA) in which there is a change point.

2.4. Spatial distribution of the rainfall data

For the spatial distribution of rainfall data, the Ordinary Kriging was used, who is a common type of Kriging in practice. Ordinary kriging is a geostatistical tool by which the distance between two points is used to predict the semivariance of some dependent variable (Farmer 2016). In this method, the trend is considered as unknown and

constant. Ordinary Kriging estimates the unknown precipitation depth at the unsampled location as a linear combination of neighboring observations (Zhang and Srinivasan 2009). Cressie (1993) provide the description of the mathematics of kriging. For analysis of the spatial distribution of precipitation, were considered regular intervals of five years.

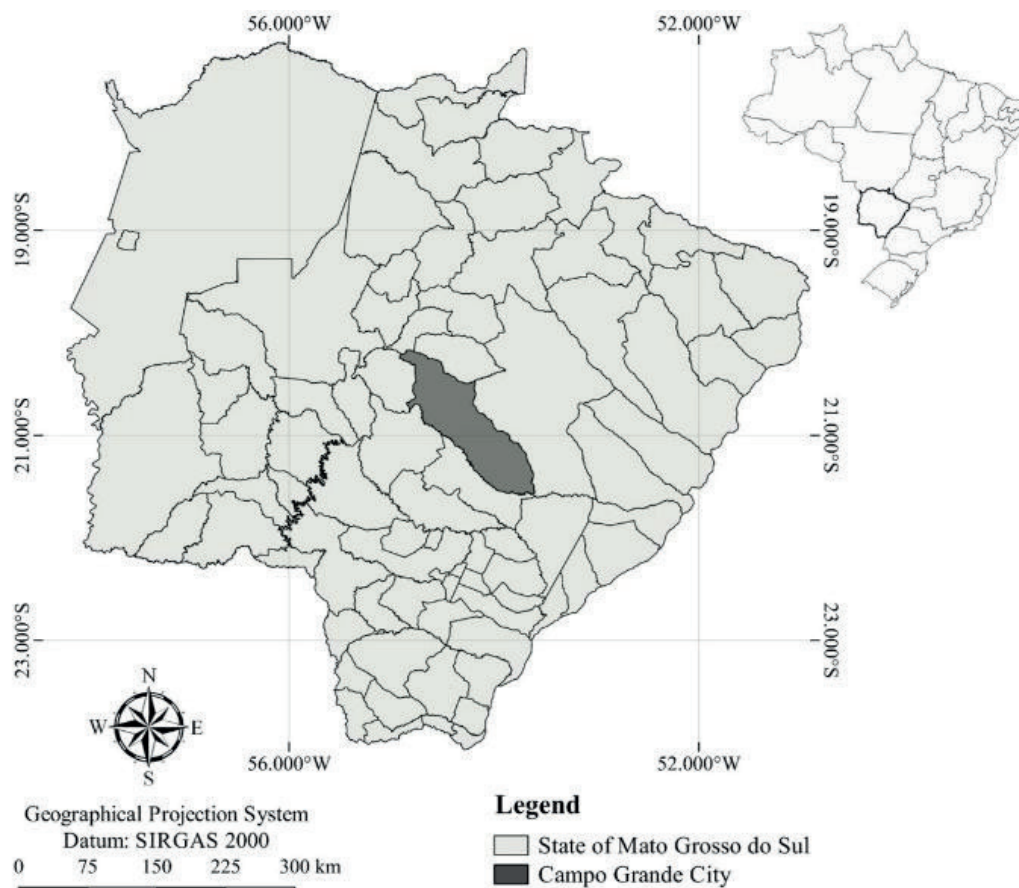


Figure 1: Location of Mato Grosso do Sul State.

Source: Authors.

Code	Station	Latitude	Longitude
1754002	Posto Correntes (MT-163)	17°35'12.84" S	54°45'24.12" W
1754004	Pedro Severo	17°49'50.88" S	54°18'47.16" W
1755001	União	17°47'25.08" S	55°46'24.96" W
1756002	Retiro Seguro	18°01'14.88" S	56°43'54.84" W
1756003	Porto do Alegre	17°37'23.88" S	56°57'54.00" W
1757000	Porto Índio	17°37'00.12" S	57°42'00.00" W
1757003	Bela Vista do Norte	17°38'29.04" S	57°41'26.16" W
1852002	Indáia Grande	18°59'52.08" S	52°35'17.16" W
1852003	Cidade Chapadão Gaúcho	18°41'30.12" S	52°35'38.04" W
1853001	Figueirão	18°43'59.88" S	53°40'59.88" W
1853002	Cachoeira Polvora	18°11'26.16" S	54°15'28.08" W
1853004	Costa Rica	18°32'49.92" S	53°08'07.08" W

Code	Station	Latitude	Longitude
1853005	Colônia Figueirão	18°40'46.92" S	53°38'16.08" W
1854000	Coxim	18°30'15.12" S	54°44'04.92" W
1854001	Pedro Gomes	18°05'54.96" S	54°32'49.92" W
1854002	Rio Verde de Mato Grosso	18°54'36.00" S	54°49'55.92" W
1854003	Jauru	18°38'57.12" S	54°21'25.92" W
1854004	Coxim	18°30'15.12" S	54°45'20.16" W
1854006	Confluência do Rio Jauru	18°43'49.08" S	54°34'42.96" W
1855000	Fazenda São Gonçalo (Partic.)	18°21'00.00" S	55°51'00.00" W
1857001	Amolar	18°02'25.08" S	57°29'26.88" W
1857002	São José do Mato Grande	18°14'11.04" S	56°58'23.16" W
1857003	São Francisco	18°23'38.04" S	57°23'27.96" W
1951002	Paranaíba	19°39'48.96" S	51°11'26.88" W
1951003	Fazenda Pindorama	19°23'26.88" S	51°36'32.04" W
1951004	Arvore Grande	19°13'45.12" S	51°52'30.00" W
1951005	Inocência	19°44'11.04" S	51°56'00.96" W
1952000	Alto Sucuriu	19°26'39.12" S	52°33'29.88" W
1952001	Pontal	19°40'41.16" S	52°53'47.04" W
1952002	Morangas	19°33'12.96" S	52°09'59.04" W
1952003	São José do Sucuriu	19°57'47.88" S	52°13'33.96" W
1953000	Alto Rio Verde	19°22'36.84" S	53°34'10.92" W
1953001	Vista Alegre	19°47'04.92" S	53°57'50.04" W
1953003	Furlaneto	19°16'18.84" S	53°29'26.88" W
1953004	Porto de Pedras	19°03'18.00" S	53°00'54.00" W
1954002	Rochedo	19°57'11.88" S	54°52'42.96" W
1954003	Rio Negro	19°26'22.92" S	54°58'59.88" W
1954004	Camapuã	19°29'48.12" S	53°59'48.12" W
1954005	Bandeirantes	19°55'04.08" S	54°21'30.96" W
1954006	Fazenda Caranda	19°19'19.92" S	54°09'39.96" W
1955000	Iguaçu	19°56'40.92" S	55°47'39.84" W
1956001	Paraíso	19°10'23.88" S	56°42'43.92" W
1956002	Rio Negro (Fazenda)	19°34'00.12" S	56°12'00.00" W
1956003	Entre Rios	19°41'48.12" S	56°16'58.08" W
1956004	Campo Alto	19°00'11.88" S	56°05'20.04" W
1956005	Bodoquena	19°52'14.88" S	56°59'00.96" W
1956006	Porto Carreiro (Particular)	19°57'00.00" S	56°52'59.88" W
1956008	São Sebastião	19°21'33.12" S	56°24'33.12" W
1957000	Corumbá	19°00'00.00" S	57°38'60.00" W
1957002	Corumbá (ETA)	19°00'20.88" S	57°36'06.84" W
1957003	Porto da Manga	19°15'29.88" S	57°14'07.08" W
1957004	Forte Coimbra	19°55'06.96" S	57°47'21.84" W
1957005	Piraputanga	19°18'19.08" S	57°35'35.88" W
1957006	Porto Esperança	19°36'02.88" S	57°26'17.16" W
2051000	Três Lagoas	20°47'40.92" S	51°42'46.08" W
2051037	Jupia	20°48'00.00" S	51°37'59.88" W
2051045	Selvíria	20°21'48.96" S	51°25'26.04" W
2051046	Aparecida do Taboado	20°04'05.88" S	51°06'12.96" W
2052002	Água Clara	20°26'43.08" S	52°54'06.84" W

Code	Station	Latitude	Longitude
2052003	Fazenda Rio Verde	20°06'06.84" S	52°55'32.88" W
2052004	Garcias	20°36'10.08" S	52°13'05.88" W
2052006	Porto Galeano	20°05'38.04" S	52°09'37.08" W
2053000	Ribas do Rio Pardo	20°26'40.92" S	53°45'29.16" W
2053001	Usina Mimoso	20°40'36.84" S	53°34'17.04" W
2053004	Campos Elisios	20°57'39.96" S	53°17'17.16" W
2054000	Campo Grande	20°26'39.12" S	54°43'21.00" W
2054001	Campo Grande (SBCG)	20°28'00.12" S	54°40'00.12" W
2054002	Sidrolândia	20°55'59.88" S	54°58'00.12" W
2054003	Jaraguari	20°08'60.00" S	54°23'60.00" W
2054005	Jaraguá	20°29'35.16" S	54°48'41.04" W
2054009	Santa Elisa	20°29'26.16" S	54°52'00.84" W
2054010	Caixa d'água	20°27'00.00" S	54°37'59.88" W
2054011	Lageado - Tomada d'água - SAEE	20°27'00.00" S	54°37'59.88" W
2054012	Usina e Tratamento - SAEE	20°27'00.00" S	54°37'59.88" W
2054013	Conjunto Ferroviários - SAEE	20°27'00.00" S	54°37'59.88" W
2054014	DNOS - 8.DRS	20°27'06.12" S	54°37'39.00" W
2054015	Rua São Paulo 565 - SAEE	20°27'00.00" S	54°37'59.88" W
2054016	Rua Própria 44	20°27'00.00" S	54°37'59.88" W
2054017	Rua Bahia 400 - SAEE	20°27'00.00" S	54°37'59.88" W
2054018	Rua das Paineiras - SAEE	20°27'00.00" S	54°37'59.88" W
2054019	Jaraguari	20°06'07.92" S	54°26'04.92" W
2054020	Alegre	20°28'14.88" S	54°05'48.12" W
2054021	Sidrolândia	20°57'05.04" S	54°58'18.12" W
2055000	Aquidauana	20°27'24.12" S	55°40'17.04" W
2055001	Cipolândia	20°07'40.08" S	55°23'35.88" W
2055002	Palmeiras	20°26'56.04" S	55°25'50.88" W
2055003	Fazenda Lajeado	20°17'31.92" S	55°26'43.08" W
2055004	Taboco	20°04'13.08" S	55°38'43.08" W
2056001	Miranda	20°14'26.88" S	56°23'44.88" W
2056003	Estrada MT-738	20°45'51.84" S	56°05'35.16" W
2056005	Guaicurus	20°06'06.84" S	56°47'43.08" W
2056006	Miranda	20°13'59.88" S	56°22'59.88" W
2056007	Santa Rosa	21°01'54.84" S	56°59'17.16" W
2057000	Tarumã	20°17'26.88" S	57°38'52.08" W
2057001	São Simão	20°02'58.92" S	57°19'17.04" W
2152000	Porto Velho	20°48'02.16" S	52°23'17.88" W
2152001	Porto Uerê	21°43'32.88" S	52°20'03.12" W
2152005	Xavantina do Sul	21°17'43.08" S	52°48'38.16" W
2152014	Fazenda Boa Esperança	21°14'57.84" S	52°17'17.16" W
2152016	Fazenda Mimosinho	21°04'10.92" S	52°59'36.96" W
2153000	Porto Pindaíba	21°36'55.08" S	53°03'07.92" W
2153002	Passagem Ribeirão Lontra	21°24'33.84" S	53°36'47.88" W
2153003	Xavante	21°58'55.92" S	53°26'20.04" W
2153005	Fazenda Divisa	21°12'41.04" S	53°57'24.84" W
2153004	Lanceiro	21°01'22.08" S	53°32'12.84" W
2154000	Aroeira	21°38'49.92" S	54°25'31.08" W

Code	Station	Latitude	Longitude
2154001	Porto Rio Brillhante	21°48'21.96" S	54°36'11.16" W
2154002	Vau do Balsamo	20°59'38.04" S	54°30'29.16" W
2154005	Fazenda São Francisco	21°00'00.00" S	54°00'00.00" W
2154006	Retiro Guarujá	21°52'18.12" S	54°04'50.88" W
2154007	Capão Bonito	21°10'58.08" S	54°44'45.96" W
2154008	Fazenda Ponte	21°18'06.84" S	54°11'57.84" W
2155000	Maracaju	21°37'06.96" S	55°08'12.84" W
2155001	Nioaque	21°08'57.12" S	55°49'30.00" W
2156000	Bonito	21°07'05.88" S	56°28'48.00" W
2156001	Jardim	21°26'26.16" S	56°05'26.88" W
2156002	Figueira (Fazenda)	21°30'42.84" S	56°42'06.12" W
2157003	Santa Otília	21°11'30.84" S	57°02'21.12" W
2157004	Porto Murtinho	21°42'05.04" S	57°53'30.12" W
2157005	Marabá	21°41'20.04" S	57°21'34.92" W
2157006	Barranco Branco	21°05'56.04" S	57°50'40.92" W
2252000	Anaurilândia	22°11'11.04" S	52°42'47.88" W
2253000	Uhe Itaipu Ivinhema	22°22'58.08" S	53°31'55.92" W
2253004	Ivinhema	22°18'18.00" S	53°49'51.96" W
2253014	Bataipora	22°17'54.96" S	53°16'49.08" W
2253015	Fazenda Jangada	22°32'42.00" S	54°01'40.08" W
2254000	Caarapó	22°37'27.84" S	54°49'28.92" W
2254001	Dourados	22°23'53.16" S	54°47'30.12" W
2254002	Dourados	22°23'53.16" S	54°47'31.92" W
2254003	Glória de Dourados	22°24'20.88" S	54°14'07.08" W
2254004	Porto Wilma	22°04'31.08" S	54°11'21.12" W
2254005	Itaporã	22°04'28.92" S	54°47'02.04" W
2255000	Ponta Porã	22°31'59.88" S	55°43'00.12" W
2255001	Ponta Porã	22°31'59.88" S	55°42'00.00" W
2255002	Antônio João	22°11'17.16" S	55°56'36.96" W
2255003	Bocaja	22°43'54.84" S	55°14'31.92" W
2255004	Itaum	22°05'09.96" S	55°21'11.16" W
2256001	Bela Vista	22°06'36.00" S	56°31'39.00" W
2257000	Caracol	22°00'51.12" S	57°01'55.92" W
2257001	São Carlos	22°13'22.08" S	57°18'16.92" W
2353048	Fazenda Vaca Branca	23°04'22.08" S	53°49'14.16" W
2354000	Naviraí	23°03'28.08" S	54°11'38.04" W
2354001	Iguatemi	23°40'54.84" S	54°33'42.12" W
2354002	Florida	22°58'13.08" S	54°33'47.88" W
2354004	Colônia Bom Jesus	23°26'58.92" S	54°23'36.96" W
2355000	Amambaí	23°05'52.08" S	55°14'36.96" W
2355001	Coronel Sapucaia	23°15'57.96" S	55°31'27.84" W
2355002	Porto São Domingos	23°39'01.08" S	55°23'30.84" W
2355003	Tacuru	23°38'25.08" S	55°01'09.12" W

Table 1: Rainfall monitoring stations

Source: Authors.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

Precipitation is the main input element of the water balance, in addition to being a fundamental factor in the occurrence of hydrological processes in a watershed.

Thus, knowing the intensity, distribution, and frequency of precipitation enable quantification of water supply, flood control, soil erosion, and the possibility of drought in a particular region. In addition, this knowledge is essential for the effective engineering of hydraulic works.

According to Shi *et al.* (2015), changes in precipitation spatiotemporal patterns have great impacts on drought/flood risk and utilization of water resources. Extreme-rainfall-related problems have become more of a concern over the last few decades because of increases in their intensity and frequency (Yilmaz and Perera 2015). Kyselý (2009) affirmed that these changes can also very likely have serious effects on ecosystems, hydrology, and water resources.

3.1. Rainfall temporal analysis

According to the linear regression analysis, it was observed that, during the dry season, 55,68% of the analyzed stations presented a positive trend (increasing pattern) and 44,32% presented a negative trend (decreasing pattern). However, during the rainy season, 41,76% of the stations presented a positive trend (increasing pattern) and 58,24% presented a negative trend (decreasing pattern). The slope of the regression analysis in the dry season varied from -0,0044 to 0,0045, in the rainy season its presented a larger range, the slope varied from -0,0117 to 0,0052.

The Mann-Kendall test showed different rainfall trends pattern in the study area. The Aw climate domain had thirty one monitoring stations analyzed for rainfall trend, and it comprises four regions of the State: East, North, Northwest and Central. The Aw climate domain presented the slope of the regression analysis varied from -0,0037 to 0,0030 in the dry season and from -0,0117 to 0,004 in the rainy season. The Northern region showed a decreasing tendency in the rainy season for the Porto do Alegre station, with significant trend in the Mann-Kendall test, p value of 0,0128 and $\tau = -0,134$ (Figure 2.a). The Northwestern region also presented a decreasing tendency of precipitated monthly totals in the rainy season. Two stations presented a significant negative trend in the Mann-Kendall test, the São Francisco station with 0,001 p value and $\tau = -0,208$ (Figure 2.b) and the Forte Coimbra station with 0,00005 p value and $\tau = -0,217$ (Figure 2.c). However, the Eastern region presented a significant growing tendency in the rainy season. Two stations presented a significant positive trend in the Mann-Kendall test, the Porto Uerê station with 0,022 p value and $\tau = 0,0936$ (Figure 2.f), and the Fazenda Jangada station with 0,027 p value and $\tau = 0,109$ (Figure 2.g).

The Southwest region of the State, whose domain is the Af climate, had nine monitoring stations analyzed for rainfall trend. In the rainy season, 77,78% of the stations showed a negative trend. The slope of the regression

analysis varied from -0,00096 to 0,0045 in the dry season and from -0,0041 to 0,0023 in the rainy season. None station located in the Af climate domain presented a significant trend in the Mann-Kendall test.

In the climate-dominated region Cfa, Southern region of the State, thirteen stations were analyzed. In the rainy season, there was a predominance of a positive tendency. In the dry season there was also an increase in rainfall trend, with nine stations showing an increasing tendency. The slope of the regression analysis varied from -0,0044 to 0,00204 in the dry season and from -0,0033 to 0,0049 in the rainy season. Two stations presented a significant positive trend in the Mann-Kendall test, the Antonio João station with 0,0126 p value and $\tau = 0,119$ (Figure 2.h) and the Amambai station with 0,0267 p value and $\tau = 0,0937$ (Figure 2.i). Amambai was one of the studied cities by Oliveira *et al.* (2021) that were affected by heavy rainfall in November 2015 and experienced a disaster that lasted for a period of 180 days, so the results of the increase tendency of rainfall in the region confirm the results presented.

The Am climate occupies a region that runs from the Northeast to the West of the State. Ten stations were analyzed in the Northeast region. In the rainy season four stations showed an increasing pattern and six showed a decreasing pattern. In the dry season eight stations showed a negative trend. In the Western region there was an increasing tendency of precipitation in the dry season and decreasing in the rainy season. The slope of the regression analysis varied from -0,0039 to 0,0041 in the dry season and from -0,0069 to 0,0052 in the rainy season. The Campos Elísios station presented a significant positive trend in the Mann-Kendall test in both seasons analyzed. For the rainy season it presented a $\tau = 0,131$ with 0,0107 p value (Figure 2.d) and for the dry season a $\tau = 0,133$ with 0,0362 p value (Figure 2.e).

At the Central region is located Campo Grande city, the capital of the Mato Grosso do Sul State. The Mann-Kendall test results showed a significant increasing trend at three rainfall monitoring stations near Campo Grande city (Ribeirão Lontra, Porto Vilma, and Cipolândia) during the rainy season and at two rainfall monitoring stations (Ribeirão Lontra and Palmeiras) during the dry season. A significant upward trend both during the dry season and rainy season was verified at one rainfall monitoring station (Ribeirão Lontra).

Of the rainfall monitoring stations in which significant trends were detected during the dry period of the year, one (Ribeirão Lontra) has an Am climate and the other (Palmeiras) has an Aw climate. However, among the three

rainfall stations in which a significant trend was detected during the rainy season, only one (Ribeirão Lontra) had an Am climate, while the other two (Porto Vilma and Cipolândia) had an Aw climate (Figure 3).

At the Ribeirão Lontra rainfall station, the maximum total rainfall during the dry season did not exceed 200 mm. The Pettitt test showed an abrupt change in the pattern of rainfall in August 1996. During 1997 and 2000, the total rainfall of the period increased to 500 mm and during 2009 reached 619,5 mm. During the rainy season, which also showed a significant trend, an abrupt change was detected during April 1995. At this station, a great variability was observed in the total rainfall for the period, during each year, such that, between 2009 and 2014, total annual rainfall exceeded 1.000 mm, reaching 1.218,6 mm during 2013.

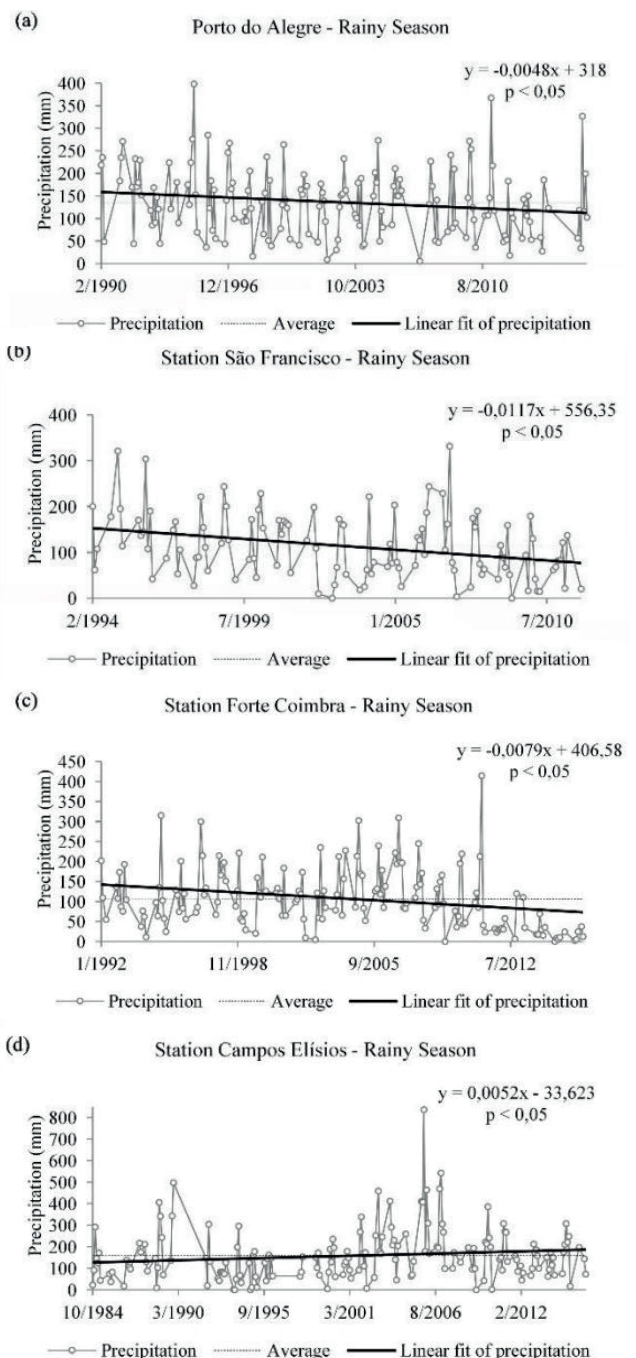
At the rainfall station Porto Vilma, decreases in the total rainfall during some alternate years was apparent, but overall there was an increasing trend considering the total series analyzed. The Pettitt test showed a change in the rainfall pattern at the station during April 1994. The upward trend is evidenced by the change in the total rainfall from 807,5 mm during the rainy season of 1986 to 1.422,7 mm during the rainy season of 1997. The Cipolândia station showed a change in the rainfall pattern during the 2000s, more specifically during April 2005. A total rainfall of more than 1.800 mm was observed during the rainy season of 2011.

The data series of the rainfall station Palmeiras presented an abrupt change identified by the Pettitt method during July of 2000. At this station an increasing trend was detected in the total monthly rainfall for the dry period of each year. During 1989, 120 mm was recorded in during June. During 1994 the maximum monthly rainfall was 145 mm, during 1998 it was 160,7 mm, during 2008 it was 171,4, during 2012 it was 203,9 mm, and, in 2016, the maximum recorded rainfall of 226,1 mm during the dry season, was recorded.

Da Silva (2004), conducted a study in Northeastern Brazil and concluded that the relative humidity and rainfall presented a decreasing behavior in that region. The results also suggest that the historical trends may be related to climatic variability in the region, which affects both the semi-arid and coastal parts of the region. Marengo (2004) identified negative rainfall trends for the entire Amazon basin, while at the regional level there was a negative trend in Northern Amazonia and a positive trend in Southern Amazonia. The author observed that the Southern part of the Amazon Basin seems to show

similarities to the changes in precipitation in Southern Brazil and Northern Argentina.

Moraes *et al.* (1998), statistically analyzing the Piracicaba river basin in the Southeastern region of Brazil, observed that precipitation and evapotranspiration data showed significant increasing trends. However, the flow data showed a significant decreasing trend. Therefore, the most probable cause of this decreasing behavior is the exportation of water from the basin to the metropolitan region of São Paulo, indicating anthropogenic intervention in the behavior of the hydrological cycle.



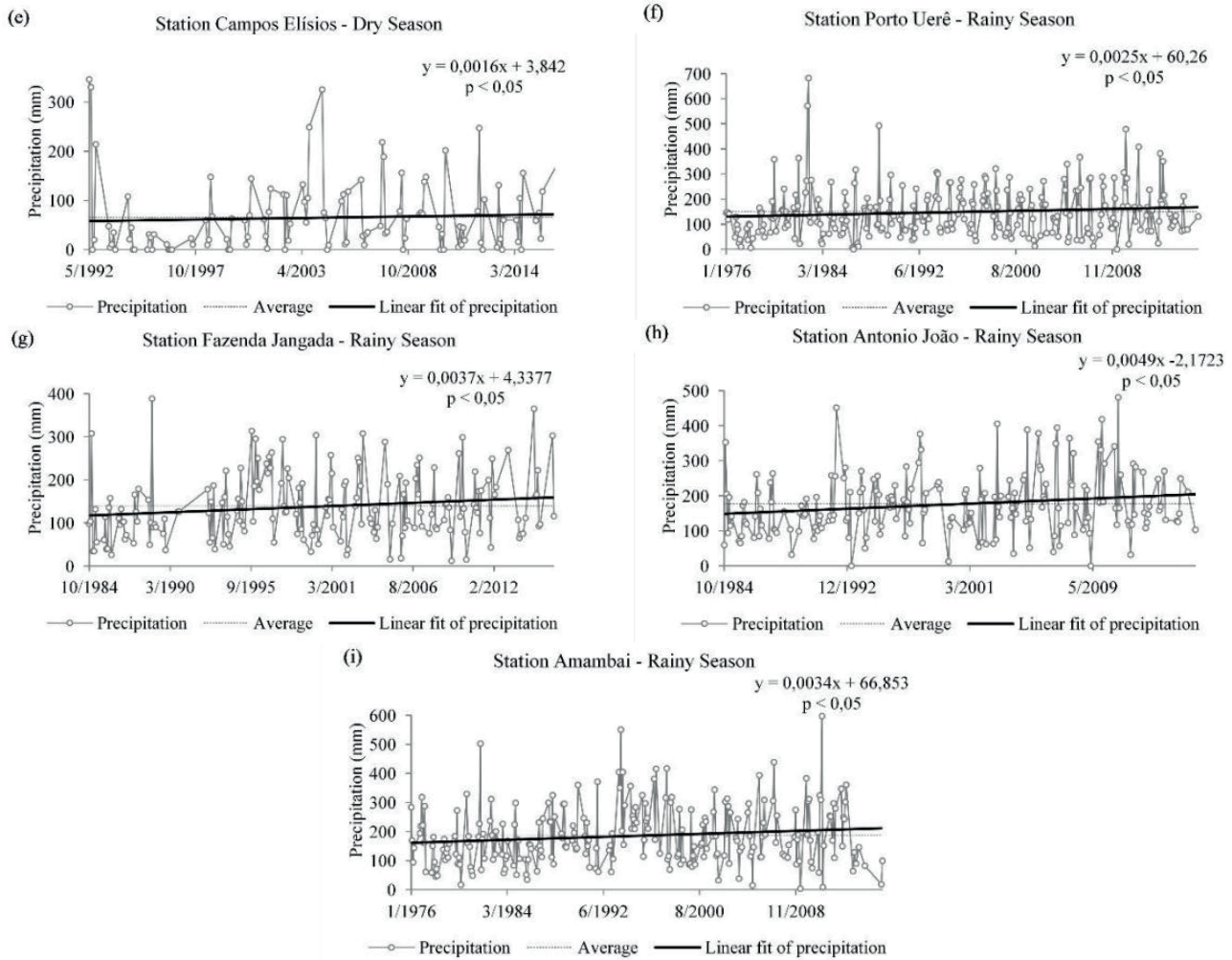


Figure 2: Rainfall monitoring stations of different regions of Mato Grosso do Sul State.
Source: Authors.

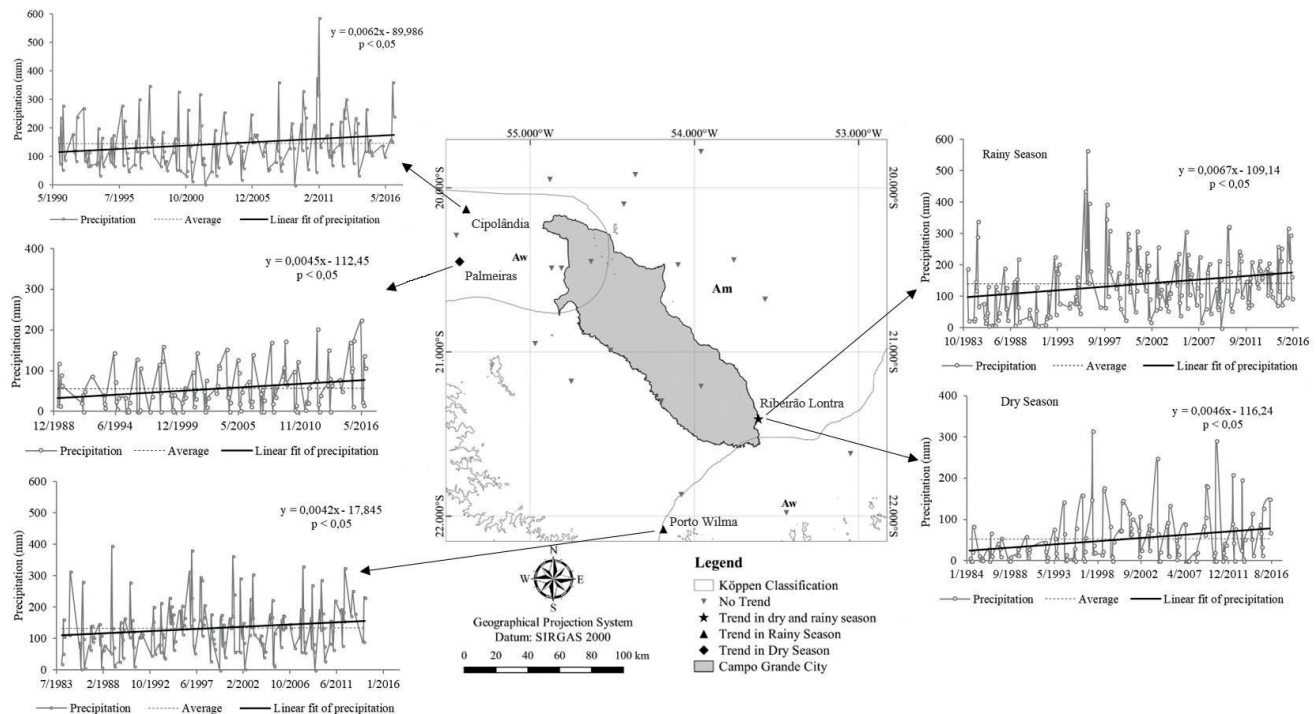


Figure 3: Distribution of rainfall monitoring stations at Central region of Mato Grosso do Sul State.
Source: Authors.

All the significant trends detected in the Central region were ascending. According to Lima *et al.* (2021) the city of Campo Grande presents a monthly rainfall average of approximately 150 mm in the rainy season, and approximately 55 mm in the dry season, however 0 mm and 460 mm have been registered for some months in the dry and rainy seasons, respectively, with extreme events recurrently registered in the rainy season. Through a Disaster Information Form (FIDE) of the Brazilian Ministry of National Integration, regulated by Normative Instruction No. 2, dated 12/20/2016 (Brazil 2016), the Emergency Municipality (SE) was recognized by the municipality of Campo Grande during 2006, 2010, 2011, 2014, and 2016 because of floods, landslides, local storms, and linear erosion. All these hydrometeorological disasters occur more frequently and severely if the temporal trend of rainfall in the region is increasing. Thus, the results obtained serve as an alert, because all rainfall stations in which a significant trend was detected have an increasing pattern of precipitation.

3.2. Spatial analysis of rainfall

Considering the rainy season, during all the time intervals, the highest rainfall occurred in the Northeast region of the State (Figure 4). While the lowest rainfall occurred during the interval 1976 to 1980 was concentrated in the South region, that is, precipitation decreased from North to South of the State. In the intervals 1981 to 1985, 1986 to 1990 and 1991 to 1995, the lowest rainfall occurred concomitantly in the East and West, with medium precipitation in the Central area of the State. Already, from 1996 to 2000 and 2001 to 2005 the lowest rainfall (130 to 140 mm) was concentrated in the West region. The intervals 2006 to 2010 and 2011 to 2015, the area that concentrated the lowest rainfall was also the Western region, however the minimum rainfall heights reached 110 mm. Thus, the highest rainfall tends to be concentrated in the Northeastern part of the State, with little change in that. However, the Western region of the State, where the Pantanal South-Mato-Grossense is located, has undergone a gradual decrease of rainfall, and in almost all periods was the place that presented the lowest rainfall.

Considering the rainy season, in all the analyzed periods, the highest rainfall heights are concentrated in the Northeastern region of Mato Grosso do Sul. The monthly total precipitated in the months of the rainy season showed a decrease in the region of the Pantanal South-Mato-Grossense (Western region of the State). According

to Bergier *et al.* (2018), in general the decadal trend of seasonal precipitation was not statistically significant for all seasons analyzed in their study, which means that despite the interannual variability, the average amount of rainfall on the Brazilian Pantanal did not change significantly over the seasons at the last nine decades. The results obtained by Bergier *et al.* (2018) are according to Boers *et al.* (2017) and reinforce the importance of the Amazon rainforest in the redistribution of precipitable water in South America. According to Nobre (2014), along the Amazon deforestation arc, precipitation decreased due to the reduction of surface moisture fluxes.

By analyzing the dry season over time, it was verified that the highest rainfall levels were concentrated mainly in the Southern region of the State (Figure 5), which borders Paraguay and Paraná State (Brazil). The lowest rainfall amounts were concentrated in the North region of Mato Grosso do Sul State. It was only in the period 1981 to 1985 that the highest rainfall intensity was concentrated more Southwest the State. Considering the dry season, during the intervals from 2001 to 2005, 2006 to 2010 and 2011 to 2015 it is noticeable that the highest rainfall heights are smaller in these periods of time than others, a situation similar to that happened in 1981 to 1985. It is noted that the highest rainfall heights in the dry season of the year tend to be concentrated in the Southern region of the State. However, the highest rainfall in this region has been decreasing with time. This can be observed comparing the periods 2006 to 2010 and 2011 to 2015, where the monthly precipitation average reached 80 mm, with the previous periods where the average monthly precipitation for the dry period exceeded 100 mm. This behavior of rainfall reduction can also be noticed in the lowest rainfall concentrated in the Northern region of the State, comparing the period from 1976 to 1980 with 2011 to 2015.

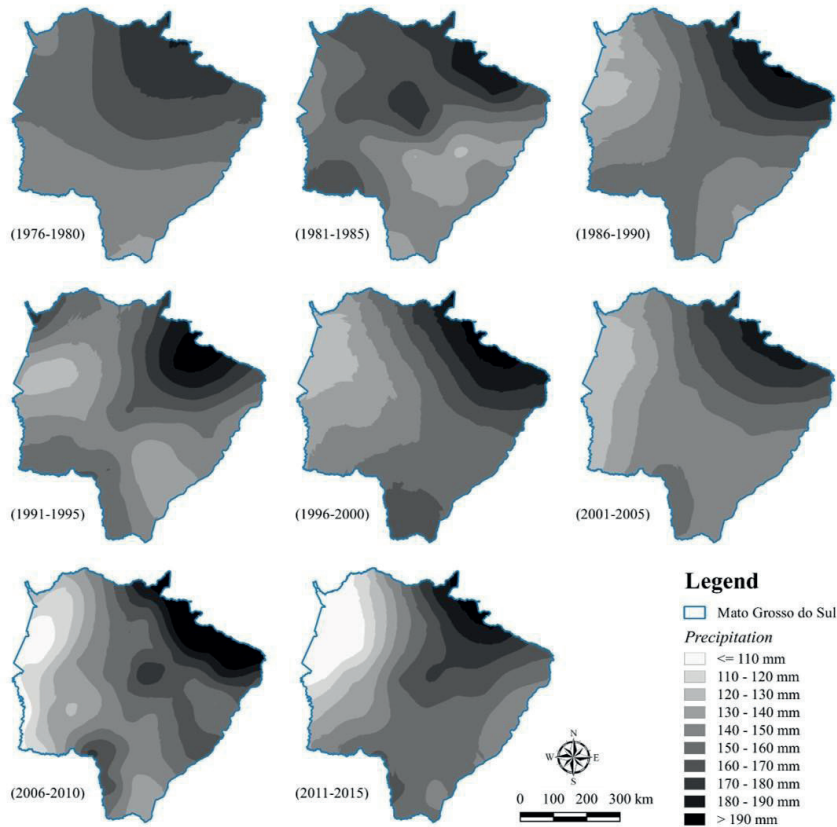


Figure 4: Spatial distribution of rainfall during the rainy season for 5-year intervals.
Source: Authors.

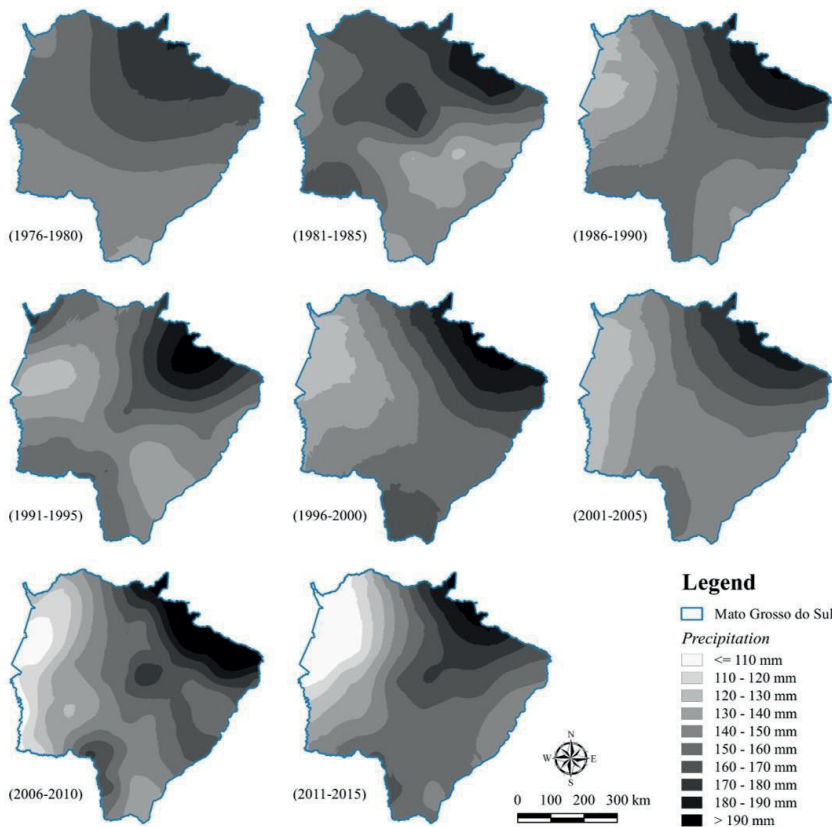


Figure 5: Spatial distribution of precipitation during the dry season for 5-year intervals.
Source: Authors.

4. CONCLUSION

In Mato Grosso do Sul State, the most significant change in the rainfall trend pattern occurs at the rainy season.

The monthly total precipitated in the rainy and in the dry season showed a decrease pattern in the region of the Pantanal South-Mato-Grossense (Western region of the State). In the region was also detected a significant negative trend of precipitation in the rainy season.

There is a growing trend in rainfall amount in the municipal area of Campo Grande, which has become more pronounced during recent years. This trend is higher during the rainy season, but it is also evident during the dry season. The observation of a significant tendency of an increase in the mean height of rainfall over the years justifies the reduction in the time intervals between hydrometeorological disasters recorded by official means, mainly in the urbanized area of the Municipality of Campo Grande.

The analyses have implications for future scenarios during the rainy season, once the trend become more intense and recurrent.

Hydrometeorological disasters more frequently and severely occur if the temporal tendency of the precipitation in the region is ascending.

The study of the precipitation characteristics in this region can assist public administration in decision making regarding water resources management.

ACKNOWLEDGMENTS

This study was partially financed by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001. The authors are grateful to the Programa de Apoio à Pós-graduação – PROAP, to the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), to the Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul, and to the Federal University of Mato Grosso do Sul - UFMS for their support in the development of this work.

REFERENCES

ADAMOWSKI, J.; ADAMOWSKI, K.; BOUGADIS, J. Influence of trend on short duration design storms. **Water Resources Management**, v. 24, p. 401-413, 2010.

doi:10.1007/s11269-009-9452-z

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. doi:10.1127/0941-2948/2013/0507

ANA HidroWeb — Sistema de Informações Hidrológicas, (available on-line through the Agência Nacional de Águas, Brasília, DF, Brasil, 2018. <http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb/>).

ASADIEH, B.; KRAKAUER, N. Y. Global trends in extreme precipitation: climate models versus observations. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 19, n. 2, p. 877-891, 2015. doi:10.5194/hess-19-877-2015

BERGIER, I.; ASSINE, M. L.; MCGLUE, M. M.; ALHO, C. J. R.; SILVA, A.; GUERREIRO, R. L.; CARVALHO, J. C. Amazon rainforest modulation of water security in the Pantanal wetland. **Science of the Total Environment**, v. 619, p. 1116-1125, 2018. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.11.163

BIRSAN, M.-V.; MOLNAR, P.; BURLANDO, P.; PFAUNDLER, M. Streamflow trends in Switzerland. **Journal of Hydrology**, v. 314, n. 1-4, p. 312-329, 2005. doi:10.1016/j.jhydrol.2005.06.008

BOERS, N.; MARWNA, N.; BARBOSA, H. M. J.; KURTHS, J. A deforestation-induced tipping point for the South American monsoon system. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 41489, 2017. doi: 10.1038/srep41489

Brazil Ministério Da Integração Nacional. Instrução Normativa Nº 02, DE 20 DE DEZEMBRO DE 2016. Estabelece procedimentos e critérios para a decretação de situação de emergência ou estado de calamidade pública pelos Municípios, Estados e pelo Distrito Federal, e para o reconhecimento federal das situações de anormalidade decretadas pelos entes federativos e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 22 de dezembro de 2016.

CONG, Z.; ZHAO, J.; YANG, D.; NI, G. Understanding the hydrological trends of river basins in China. **Journal of Hydrology**, v. 388, n. 3-4, p. 350-356, 2010. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.05.013

CRESSIE, N. A. C. Statistics for Spatial Data. Revised

- ed. **Hoboken**: John Wiley & Sons, Inc, 1993. doi: 10.1002/9781119115151
- DA SILVA, V. P. R. On climate variability in Northeast of Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 58, n. 4, p. 575-596, 2004. doi:10.1016/j.jaridenv.2003.12.002
- DABANLI, İ.; ŞEN, Z.; YELEĞEN, M. Ö.; ŞIŞMAN, E.; SELEK, B.; GÜÇLÜ, Y. S. Trend assessment by the innovative-Şen method. **Water Resources Management**, v. 30, p. 5193-5203, 2016. doi:10.1007/s11269-016-1478-4
- DAMBERG, L.; AGHAKOUCHAK, A. Global trends and patterns of drought from space. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 117, p. 441-448, 2014. doi:10.1007/s00704-013-1019-5
- DANESHMAND, H.; MAHMOUDI, P. Estimation and assessment of temporal stability of periodicities of droughts in Iran. **Water Resources Management**, v. 31, p. 3413-3426, 2017. doi:10.1007/s11269-017-1676-8
- FARMER, W. H. Ordinary kriging as a tool to estimate historical daily streamflow records. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 20, n. 7, p. 2721-2735, 2016. doi: 10.5194/hess-20-2721-2016
- HANIF, M.; KHAN, A. H.; ADNAN, S. Latitudinal precipitation characteristics and trends in Pakistan. **Journal of Hydrology**, v. 492, p. 266-272, 2013. doi:10.1016/j.jhydrol.2013.03.040
- HIDALGO-MUÑOZ, J. M.; ARGÜESO, D.; GÁMIZ-FORTIS, S. R.; ESTEBAN-PARRA, M. J.; CASTRO-DÍEZ, Y. Trends of extreme precipitation and associated synoptic patterns over the southern Iberian Peninsula. **Journal of Hydrology**, v. 409, n. 1-2, p. 497-511, 2011. doi:10.1016/j.jhydrol.2011.08.049
- KENDALL, M. G. **Rank correlation methods**. London: Charles Griffin. 1975.
- KYSELÝ, J. Trends in heavy precipitation in the Czech Republic over 1961–2005. **International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 29, n. 12, p. 1745-1758, 2009. doi:10.1002/joc.1784
- LIMA, C. A. S.; SOUZA, R. S.; ALMEIDA, A. K.; DE ALMEIDA, I. K. Economic feasibility of a rainwater harvesting system in a residential condominium in the Brazilian Midwest. **International Journal of Sustainable Engineering**, v. 14, n. 6, p. 1950-1961, 2021. DOI: 10.1080/19397038.2021.1961910
- LONGOBARDI, A.; BUTTAFUOCO, G.; CALOIERO, T.; COSCARELLI, R. Spatial and temporal distribution of precipitation in a Mediterranean area (southern Italy). **Environmental Earth Sciences**, v. 75, p. 1-20, 2016. doi:10.1007/s12665-015-5045-8
- MANN, H. B. Nonparametric tests against trend. *Econometrica*: **Journal of the Econometric society**, p. 245-259, 1945. doi: 10.2307/1907187
- MARENGO, J. A. Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 78, p. 79-96, 2004. doi:10.1007/s00704-004-0045-8
- MILLY, P. C. D.; BETANCOURT, J.; FALKENMARK, M.; HIRSCH, R. M.; KUNDZEWICZ, Z. W.; LETTENMAIER, D. P.; STOUFFER, R. J. Stationarity is dead: Whither water management? **Science**, v. 319, n. 5863, p. 573-574, 2008. doi:10.1126/science.1151915
- MORAES, J. M.; PELLEGRINO, G. Q.; BALLESTER, M. V.; MARTINELLI, L. A.; VICTORIA, R. L.; KRUSCHE, A. V. Trends in hydrological parameters of a southern Brazilian watershed and its relation to human induced changes. **Water Resources Management**, v. 12, p. 295-311, 1998. doi:10.1023/A:1008048212420
- NAGHETTINI, M.; PINTO, É. J. A. **Hidrologia estatística**. CPRM, 2007.
- NALLEY, D.; ADAMOWSKI, J.; KHALIL, B. Using discrete wavelet transforms to analyze trends in streamflow and precipitation in Quebec and Ontario (1954–2008). **Journal of Hydrology**, v. 475, p. 204-228, 2012. doi:10.1016/j.jhydrol.2012.09.049
- NOBRE, A. D. **The future climate of Amazonia**, scientific assessment report. Sponsored by CCST-INPE, INPA and ARA, São José dos Campos Brazil, 2014. Available from: http://www.ccst.inpe.br/wp-content/uploads/2014/11/The_Future_Climate_of_Amazonia_Report.pdf

NYEKO-OGIRAMO, P.; WILLEMS, P.; NGIRANE-KATASHAYA, G. Trend and variability in observed hydrometeorological extremes in the Lake Victoria basin. **Journal of Hydrology**, v. 489, p. 56-73, 2013. doi:10.1016/j.jhydrol.2013.02.039

OGUNTUNDE, P. G.; ABIODUN, B. J.; LISCHIED, G. Rainfall trends in Nigeria, 1901–2000. **Journal of Hydrology**, v. 411, n. 3-4, p. 207-218, 2011. doi:10.1016/j.jhydrol.2011.09.037

OLIVEIRA, A. C. C.; ALMEIDA, A. K.; GUARIENTI, J. A.; LIMA, C. A. S.; DE ALMEIDA, L. V. F.; DE SOUZA, R. S.; DE ALMEIDA, I. K. Extreme precipitation events and associated risk of failure in hydraulic projects in the State of Mato Grosso do Sul, Brazil. **MIX Sustentável**, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 147–160, 2021. DOI: 10.29183/2447-3073.MIX2021.v7.n2.147-160

PAL, I.; AL-TABBAA, A. Trends in seasonal precipitation extremes—An indicator of ‘climate change’ in Kerala, India. **Journal of Hydrology**, v. 367, n. 1-2, p. 62-69, 2009. doi:10.1016/j.jhydrol.2008.12.025

PETTIT, A. N. A non-parametric approach to the change-point problem. **Applied Statistics**, v. 28, n. 2, p. 126-135, 1979. doi: 10.2307/2346729

SAHOO, D.; SMITH, P. K. Hydroclimatic trend detection in a rapidly urbanizing semi-arid and coastal river basin. **Journal of Hydrology**, v. 367, n. 3-4, p. 217-227, 2009. doi:10.1016/j.jhydrol.2009.01.014

SARR, M. A.; ZOROMÉ, M.; SEIDOU, O.; BRYANT, C. R.; GACHON, P. Recent trends in selected extreme precipitation indices in Senegal—A changepoint approach. **Journal of Hydrology**, v. 505, p. 326-334, 2013. doi:10.1016/j.jhydrol.2013.09.032

SHI, P.; WU, M.; QU, S.; JIANG, P.; QIAO, X.; CHEN, X.; ZHOU, M.; ZHANG, Z. Spatial distribution and temporal trends in precipitation concentration indices for the Southwest China. **Water Resources Management**, v. 29, p. 3941-3955, 2015. doi:10.1007/s11269-015-1038-3

DA SILVA, J. S. V.; DE MOURA ABDON, M. *Delimitação do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 13, p. 1703-1711, 1998.

SMALLEY, M.; L'ECUYER, T. A global assessment of the spatial distribution of precipitation occurrence. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 54, n. 11, p.

2179-2197, 2015. doi:10.1175/JAMC-D-15-0019.1

TABARI, H.; TALAEE, P. H. Temporal variability of precipitation over Iran: 1966–2005. **Journal of Hydrology**, v. 396, n. 3-4, p. 313-320, 2011. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.11.034

YILMAZ, A. G.; PERERA, B. J. C. Extreme rainfall nonstationarity investigation and intensity–frequency–duration relationship. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 19, n. 6, p. 1160-1172, 2014. doi:10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000878

YILMAZ, A. G.; PERERA, B. J. C. Spatiotemporal trend analysis of extreme rainfall events in Victoria, Australia. **Water Resources Management**, v. 29, p. 4465-4480, 2015. doi:10.1007/s11269-015-1070-3

YUE, S.; PILON, P.; CAVADIAS, G. Power of the Mann–Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. **Journal of Hydrology**, v. 259, n. 1-4, p. 254-271, 2002. doi:10.1016/S0022-1694(01)00594-7

ZHANG, X.; SRINIVASAN, R. GIS-based spatial precipitation estimation: a comparison of geostatistical approaches 1. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 45, n. 4, p. 894-906, 2009. doi: 10.1111/j.1752-1688.2009.00335.x

ZHANG, Z.; XU, C.-Y.; EL-TAHIR, M. E.-H.; CAO, J.; SINGH, V. P. Spatial and temporal variation of precipitation in Sudan and their possible causes during 1948–2005. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 26, p. 429-441, 2012. doi:10.1007/s00477-011-0512-6

AUTHORS

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8871-3926>

IZABEL RODRIGUES LEITE; Engenharia Civil, Mestre em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos, Doutoranda em Tecnologias Ambientais (UFMS). E-mail: izabelleite93@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4191-7897>

LUIZ FELIPE FINCK; Técnico em Gestão Ambiental, Técnico em Meio Ambiente, Especialista em Ciências Ambientais, Mestre em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos. E-mail: lf2ambiental@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3821-3776>

ALESKA KAUFMANN ALMEIDA; Engenheira Civil, Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho, MBA em Gestão de Projetos, Mestre e Doutora em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos, Pós-Doutora em Tecnologias Ambientais. Docente da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). E-mail: aleska.almeida@ufms.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5778-9503>

JOVANE MARTINS CORREA; Engenheiro Civil, Mestre em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos. E-mail: jovane.m.correa@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8610-4983>

CÁSSIA MONTEIRO DA SILVA BURIGATO COSTA; Engenheira Ambiental, Mestre e Doutora em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos. E-mail: burigato.cassia@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8609-2991>

ISABEL KAUFMANN DE ALMEIDA; Engenheira Civil. Doutora em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos. Docente da Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia (FAENG) da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). E-mail: isabel.almeida@ufms.br

HOW TO CITE THIS ARTICLE

LEITE, Izabel Rodrigues; FINCK, Luiz Felipe; ALMEIDA, Aleska Kaufmann; CORREA, Jovane Martins; COSTA, Cássia Monteiro da Silva Burigato; ALMEIDA, Isabel Kaufmann de. Spatial distribution and temporal trends in Rainfall in Mato Grosso do Sul, Brazil. **MIX Sustentável**, v. 9, n. 5, p. 165-181 2023. ISSN 244-73073. Available in: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Access in: DD/MM/YYYY doi: <<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n5.165-181>>.

SUBJECTED IN: 22/04/2023

ACCEPTED IN: 21/09/2023

PUBLISHED IN: 30/10/2023

RESPONSIBLE EDITOR: Lisiane Ilha Librelotto e Paulo Cesar Machado Ferroli

Record of authorship contribution:

CRedit Taxonomy (<http://credit.niso.org/>)

IRL: Conceptualization, Methodology, Software, Validation, Formal analysis, Investigation, Writing the Original Draft and Review and Editing, Visualization.

LFF: Conceptualization, Methodology, Software, Writing the original Draft, Review and Editing; Visualization.

AKA: Conceptualization, Methodology, Software, Writing the Original Draft and Review and Editing, Visualization.

JMC: Investigation, Software, Writing the Original Draft.

CMSBC: Investigation, Writing the Original Draft.

IKA: Conceptualization, Methodology, Validation, Formal analysis, Writing the Original Draft and Review and Editing, Visualization, Supervision, Funding acquisition.

Conflict declaration: nothing has been declared.

ULTRA-HIGH-PERFORMANCE CONCRETES WITH PHENOLIC FOUNDRY SAND: MECHANICAL AND MICROSTRUCTURAL EVALUATION

CONCRETOS DE ULTRA ALTO DESEMPENHO COM AREIA DE FUNDIÇÃO FENÓLICA: AVALIAÇÃO MECÂNICA E MICROESTRUTURAL

HORMIGONES DE ULTRA ALTO DESEMPENHO CON ARENA DE FUNDICIÓN FENÓLICA: EVALUACIÓN MECÁNICA Y MICROESTRUTURAL.

BÓRIS CASANOVA SOKOLOVICZ, Dr. | URI - Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Brasil

GERALDO CEHELLA ISAIA, Dr. | UFSM - Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

ANDRÉ LÜBECK, Dr. | UFSM - Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

HELITON WEIDE | UFSM - Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

RESUMO

O uso de concretos de ultra alto desempenho (CUAD) tem se tornado cada vez mais comum em diversas soluções de Engenharia civil, principalmente pela sua composição de materiais que conferem propriedades de resistência e durabilidade que ultrapassam significativamente as classes dos concretos convencionais. Neste estudo buscou-se produzir CUAD usando areia fenólica de descarte de fundição (PFS). Foram ensaiadas cinco misturas de concreto. Uma CUAD de referência, chamada de REF, com 85% de cimento Portland branco (WPC) e 15% de sílica ativa (SF), como ligantes, e agregados em uma proporção de 36% de pó de quartzo e 84% de areia industrial. E quatro misturas eco amigáveis com adições minerais: RHA15, com 85% de WPC e 15% de RHA; FA15, com 85% de WPC e 15% de FA; RHA10-FA5, com 85% de WPC, 10% de RHA e 5% de FA; e RHA10-LF5, com 85% de WPC, 10% de RHA e 5% de LF. Com exceção da mistura REF, todas as demais misturas tiveram a adição de 15% de cal, tipo CH I, juntamente com agregados compostos por 36% de pó de quartzo e 84% de areia fenólica (PFS). A relação água/aglomerante adotada foi de 0,20 para todas as misturas. Os concretos foram submetidos a dois tipos de cura: úmida até a idade de ensaio e úmida combinada com cura térmica. Os concretos foram avaliados quanto à resistência à compressão axial e à microestrutura utilizando técnicas de análise termogravimétrica (TG/DTG) e espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR). Os resultados mostraram que todas as misturas atingiram níveis de resistência desejados para CUAD (150 Mpa). Até 28 dias, as misturas com RHA apresentaram maior resistência em comparação com as misturas com FA, independentemente do tipo de cura. Contudo, aos 91 dias, as misturas com FA e cura térmica foram mais resistentes que as misturas com RHA. Com os resultados obtidos percebe-se que a PFS pode ser usada como agregado de UHPC nos níveis de substituição testados.

PALAVRAS-CHAVE

CUAD; microestrutura; adições minerais; areia fenólica de fundição.

ABSTRACT

The use of ultra-high-performance concretes (UHPC) has become increasingly common in various civil engineering solutions, mainly due to their composition of materials that provide strength and durability properties significantly surpassing those of conventional concretes. The aim of this study was to produce UHPC with phenolic foundry waste



sand (PFS). Five mixtures of concrete were tested. One reference UHPC, labeled as REF, with 85% white Portland cement (WPC) and 15% silica fume (SF), as binders, and aggregates in a proportion of 36% quartz powder and 84% industrial sand. And four eco-friendly mixtures with mineral additions: RHA15, with 85% WPC and 15% RHA; FA15, with 85% WPC and 15% FA; RHA10-FA5, with 85% WPC, 10% RHA, and 5% FA; and RHA10-LF5, with 85% WPC, 10% RHA, and 5% LF. Except for the REF mixture, all other mixtures had the addition of 15% of lime, CH I, along with aggregates composed of 36% quartz powder and 84% phenolic sand (PFS). The water/binder ratio adopted was 0.20 for all mixtures. The mixtures underwent two types of curing: moist curing until the test age and moist curing combined with thermal curing. The concretes were evaluated for axial compressive strength and microstructure using thermogravimetric analysis (TG/DTG) and Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) techniques. The results showed that all mixtures achieved the desired UHPC strength levels (150 MPa). Up to 28 days, the RHA-containing mixtures exhibited higher strength compared to the FA-containing mixtures, regardless of the curing method. However, at 91 days, the FA-containing mixtures with thermal curing were stronger than the RHA-containing ones. With the results obtained, it is clear that PFS can be used as an aggregate of UHPC in the tested substitution levels.

KEYWORDS

UHPC; microstructure; mineral additions; waste foundry sand.

RESUMEN

El uso de concreto de ultra alta resistencia (UCAD) se ha vuelto cada vez más común en diversas soluciones de ingeniería civil, principalmente debido a su composición de materiales que brindan propiedades de resistencia y durabilidad que superan significativamente las clases de concreto convencional. En este estudio, se ha buscado producir CUAD utilizando arena de desecho de fundición fenólica (PFS). Se ensayaron cinco mezclas de hormigón. Un CUAD de referencia, denominado REF, con un 85% de cemento Portland blanco (WPC) y un 15% de humo de sílica (SF) como ligantes, y áridos en una proporción de 36% polvo de cuarzo y 84% arena industrial. Y cuatro mezclas eco-amigables con adiciones minerales: RHA15, con 85% WPC y 15% RHA; FA15, con 85% WPC y 15% FA; RHA10-FA5, con 85% WPC, 10% RHA y 5% FA; y RHA10-LF5, con 85% WPC, 10% RHA y 5% LF. A excepción de la mezcla REF, todas las demás mezclas tenían la adición de un 15% de cal, tipo CH I, junto con áridos compuestos por un 36% de polvo de cuarzo y un 84% de arena fenólica (PFS). La relación agua/ligante adoptada fue de 0,20 para todas las mezclas. Los hormigones se sometieron a dos tipos de curado: húmedo hasta la edad de ensayo y húmedo combinado con curado térmico. Se evaluó la resistencia a la compresión axial y la microestructura de los hormigones mediante análisis termogravimétrico (TG/DTG) y técnicas de espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (FTIR). Los resultados mostraron que todas las mezclas lograron los niveles de resistencia deseados para CUAD (150 MPa). Hasta los 28 días, las mezclas con RHA mostraron mayor resistencia en comparación con las mezclas con FA, independientemente del tipo de curado. Sin embargo, a los 91 días, las mezclas con FA y curado térmico fueron más resistentes que las mezclas con RHA. Con los resultados obtenidos, queda claro que PFS se puede utilizar como agregado de UHPC en los niveles de sustitución probados.

PALABRAS CLAVE

CUAD; microestructura; adiciones minerales; arena de fundición fenólica.

1. INTRODUCTION

To reduce cement consumption, promoting the reduction of pollutant emissions into the atmosphere and environment sustainability, the use of mineral additions (especially pozzolans and blast furnace slag) in partial replacement of cement in concrete has been an alternative researched and implemented in the construction industry. Among these pozzolans there is rice husk ash (RHA), which is an agro-industrial waste generated by the burning of rice husk, used as an energy source, and fly ash, which is the burning coal waste from the thermoelectric power industry.

Mineral additions promote physical (particle packing), chemical, and synergistic effects for ternary and quaternary mixtures. The physical effect is characterized by the added particles acting as nucleation points for the cement hydration products [1]. The type of mineral addition and mineralogical composition (crystalline and amorphous phases) are responsible for the chemical effect [2]. Isaia *et al.* [3] verified that the combination of pozzolans with different characteristics promotes a synergistic effect, increasing the levels of mechanical strength, i.e., the strength of mixtures with two additions is higher than the one presented by single addition mixtures with the same level of cement replacement.

RHA has reactivity similar to SF, refining the microstructure of the cementitious matrix at early ages, and this reactivity is due to the high amorphous content and its large specific surface area [4]. The RHA and LF mineral additions' composition promotes better performance in chemical and morphological properties, providing higher strength levels, densifying the cementitious matrix [5].

The pozzolanic reaction promoted by FA results in the reduction of Portlandite (CH) [6], for ashes with alumina contents between 15 and 35%, provides the formation of higher contents of hydrated alumina phases [7], and, the great FA influence for usual curing conditions, increases strength at later ages, especially after 28 days.

Limestone filler insertion in the cement matrix in concretes with FA improves the mechanical properties due to the lime interaction with aluminates from cement hydration, forming carboaluminates. The aluminates provided by FA in the pozzolanic reaction process enhance the lime interaction's effect [8].

Ultra high-performance concrete (UHPC) is a special

concrete that cannot be compared with conventional or high-performance concrete (HPC). The unit cement consumption is high and, consequently, its cost is very high. However, the achieved mechanical strength and densification of the cementitious matrix are so high that the UHPC can be used in situations where other types of concretes would not be feasible. Thus, the attempt to produce UHPC with industrial by-products is justifiable, for it reduces the cement consumption and the environmental impact, besides adding the aforementioned technical advantages.

In fact, there are studies that seek to substitute part of the Portland cement in the UHPC production, mainly aiming at reducing its cost and environmental impact. Yu *et al.* [9] state that due to the low water/cementitious material ratio (w/cm) and the high cement content, the hydration degree in ultra high-performance concretes is low. Therefore, the substitution of part of the cement, which ends up not reacting, by mineral additions, usually industrial by-products, can be an advantage.

Yazici *et al.* [10] evaluated the behavior of reactive powders UHPC with partial replacement of cement by silica fume combined with blast furnace slag and fly ash, in ternary or quaternary mixtures. The contents of blast furnace slag and ash varied between 10 and 30%, while they tested the silica fume in two possibilities, at a constant content equal to 26% or variable keeping the CaO/SiO₂ ratio equal to 1.30. The w/cm ratio remained constant and equal to 0.13. The concretes reached compressive strengths above 200 MPa, with the highest results when the CaO/SiO₂ ratio was constant.

Hassan *et al.* [11] evaluated the mechanical strength and stress-strain behavior of UHPC concretes with cement replacement by silica fume and blast furnace slag at 10% and 35% replacement levels, respectively. At 28 days the concretes reached strengths of around 121 MPa.

Le Than *et al.* [12] evaluated the compressive strength of UHPC in quaternary mixtures with cement, silica fume, fly ash, and rice husk ash. The strengths were very close to 130 MPa at 28 days. Van and Ludwig [13] performed a similar study with rice husk ash and blast furnace slag, whose compressive strengths in ternary mixtures were higher than with silica fume in a binary mixture.

Yu *et al.* [9] state that the use of models that maximize particle packing allows producing ultra

high-performance concretes with relatively low cement consumption. The authors achieved compressive strengths of around 100 MPa at 28 days using concretes with partial replacement of Portland cement by 5% silica fume and 29% limestone filler.

Lampropoulos *et al.* [14] evaluated the use of beam reinforcement with ultra high-performance concrete. The UHPC they tested had portland cement partially replaced by 10% silica fume and 35% blast furnace slag. The water/cementitious material ratio was 0.15. The authors achieved compressive strengths of around 164 MPa at 28 days.

On the other hand, foundry sand is the residue generated in the manufacturing process of molds used in the pouring process of ferrous and non-ferrous metals in foundries. When phenolic resins are used as binders, the generated sand is phenolic. One of the environmentally correct alternatives for the use of phenolic sands is its inertization within cementitious matrices.

In this study, it was used silica fume, rice husk ash and fly ash, lime, limestone filler, industrial sand, and waste foundry sand associated with structural white cement to produce ultra high-performance concretes (UHPC). The content of cement replacement by mineral additions was 15%, and, except for the reference mixture, it was added 15% hydrated lime (HL) to all other mixtures to catalyze the pozzolanic reaction. The water/cementitious material ratio (w/cm) was 0.20 and it was evaluated the samples regarding axial compressive strength, thermogravimetry (TG/DTG) and fourier transform spectroscopy (FTIR).

2. MATERIALS AND EXPERIMENTAL PROGRAM

In this study, ternary and quaternary mixtures were cast using white structural Portland cement (WPC), silica fume (SF), hydrated lime (CH I), rice husk ash (RHA), fly ash (FA), and limestone filler (LF), in combination with industrial sand (IS) and discarded phenolic foundry sand (PFS), where the maximum particle packing was evaluated. The tested mixtures included a reference Ultra High-Performance Concrete (UHPC) labeled as REF, with 85% WPC and 15% SF as binders and aggregates in a proportion of 36% quartz powder and 84% industrial sand; RHA15, with 85% WPC and 15% RHA; FA15, with 85% WPC and 15% FA; RHA10-FA5, with 85% WPC, 10% RHA, and 5% FA; and RHA10-LF5,

with 85% WPC, 10% RHA, and 5% LF. Except for the REF mixture, all other mixtures had the addition of 15% CH I, along with aggregates composed of 36% quartz powder and 84% phenolic sand (PFS). The water/binder ratio adopted was 0.20.

The curing of the specimens was carried out in two ways: moist curing and moist curing combined with thermal curing, with the first two days in moist curing, followed by five days in thermal curing at 80 °C, and then again in moist curing until the testing age. Subsequently, the specimens were evaluated for axial compressive strength at ages of 7, 28, and 91 days. Therefore, the molding matrix included 5 different types of mixtures, with 2 distinct curing processes, for 3 concrete ages, totaling 30 samples. The evaluated concretes lacked coarse aggregate due to high expected strengths and equipment limitations. Test specimens were limited to 5cm diameter, 10cm height cylinders, making coarse aggregate impractical.

It was used white structural cement, of Portuguese manufacture, with a 28-day strength of 52.5 MPa. According to the literature, this is the most suitable cement for making Reactive Powder Concrete due to its low C3A content and its specific surface area, which is smaller than those of any commercial CP-V, decreasing the water consumption required for a given workability. In partial replacement of cement it was used rice husk ash (RHA) from industries in the region of Santa Maria/RS, burned without temperature control, class E [15], fly ash (FA) from the thermoelectric plant of Candiota/RS, class C [15], hydrated lime (HL) [16], [17], and [18], limestone filler (LF) from the region of Caçapava do Sul/RS, quartz powder and an industrial sand from Analandia/SP, and a waste foundry sand from the city of Santa Rosa/RS. The superplasticizer TecFlow 8000 from GCP Applied Technologies was used.

To compare the mineral additions, it was tested a binary mixture (cement and silica fume), considered the reference mixture (REF), because it is a commonly used composition in the UHPC production, two ternary mixtures (cement, lime, and RHA or FA), and two quaternary mixtures (cement, lime, RHA and FA or LF).

To test the mineral additions in similar physical condition, it was sought to approximate the particle size distributions. Thus, the mineral additions were subjected to grinding in a ball mill with different grinding times, being RHA for two hours, FA for one hour, and LF for three hours. To determine the particle size

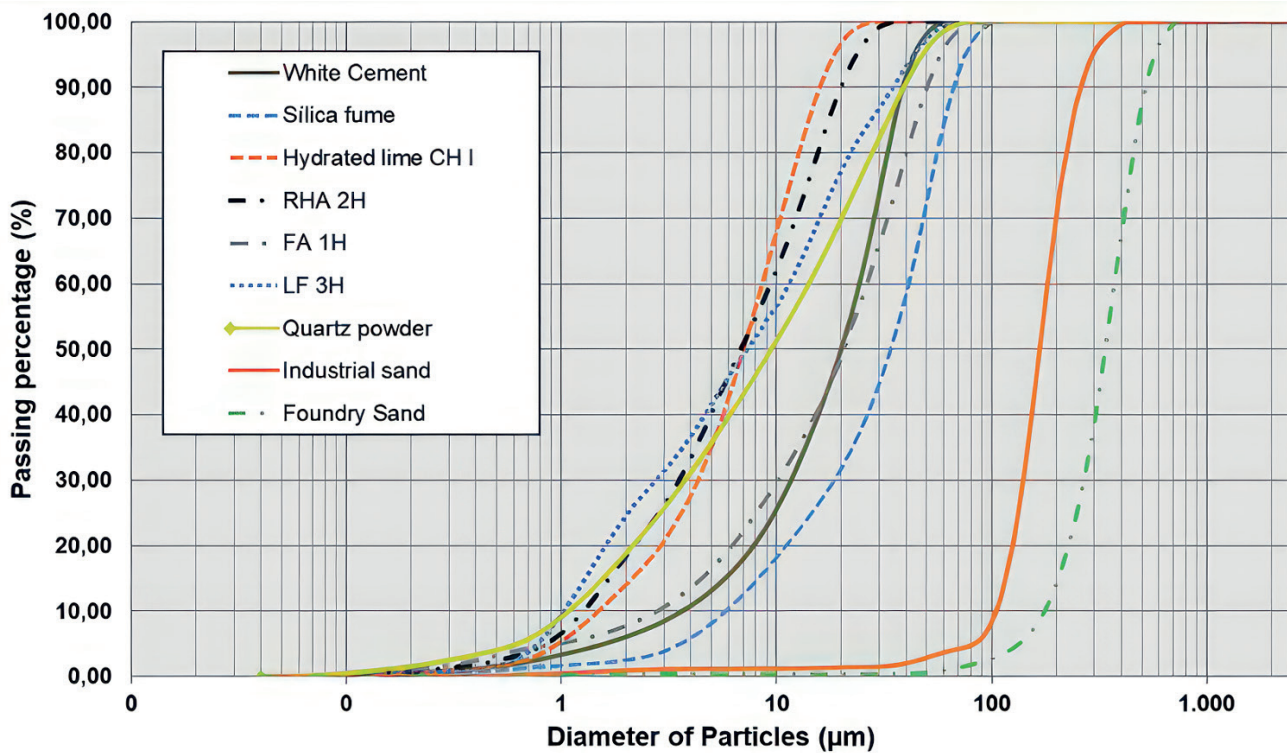


Figure 01: Particle size curves of UHPC component materials.
Source: Authors.

Material	Diameter at 10%	Diameter at 50%	Diameter at 90%	Average diameter
	(µm)	(µm)	(µm)	(µm)
Cement CP V ARI	1.07	8.90	26.01	11.54
White Portland Cement (WPC)	3.62	19.95	38.72	20.86
Silica fume (SF)	5.76	33.79	66.84	35.16
Hydrated lime CH I	1.48	7.02	15.88	8.02
Rice Husk Ash (RHA) - 2H	1.19	5.92	18.17	7.97
Fly ash (FA) - 1H	2.75	20.60	60.03	23.84
Limestone filler (LF) - 3H	5.84	73.54	310.85	119.01
Quartz powder	1.08	9.45	39.00	15.33
Industrial sand	104.77	167.27	261.85	175.57
Foundry sand (PFS)	175.89	336.76	526.51	346.26

Table 01: Average diameters of materials.
Source: Authors.

curves of the mineral additions, it was used a laser diffraction granulometer, by the PO-GT-1043 method, employing dispersion in anhydrous alcohol and ultrasound for 60 seconds. Figure 01 presents the granulometric curves while Table 01 presents the average diameters of the mineral additions. Of all the materials used, the one with the highest fineness is RHA,

with a specific area BET (m^2/g) of 49.25 and an average diameter of 7.97 μm .

Table 02 presents the results of the binders' physical and chemical characterization, with RHA and FA meeting the chemical requirements of ABNT NBR 12653 [15]. The LF milled for 3 hours obtained a performance index of 85%, which is considered satisfactory because it is a fine inert material.

Properties	WPC	CHI	SF	RHA	FA	LF
Physical						
Especific mass (g/cm ³)	3.00	2.30	2.20	2.09	2.36	2.92
Specific area BET (m ² /g)	-	-	1.90	49.25	1.04	2.64
specific surface Blaine (cm ² /g)	4900	7200	-	-	-	-
Residue #0.075 mm (%)	-	< 7.00	-	-	-	-
Residue # 32 µm (%)	2.70	-	-	-	-	-
Start of catch (min)	125	-	-	-	-	-
End of catch (min)	170	-	-	-	-	-
Reflectance index (0 a 100)	86.50	-	-	-	-	-
Portland Cement Performance Index (IAP)	-	-	-	107	92	85
Compressive strength						
3 days (MPa)	33.00					
7 days (MPa)	50.10					
28 days (MPa)	62.00					
Chemical analysis (%)						
Loss to fire	8.85	24.51	-	0.25	0.10	34.44
SiO ₂	18.75	1.77 + RI	94.30	94.84	68.81	14.18
Al ₂ O ₃	2.30	0.36	0.09	0.39	23.51	1.54
Fe ₂ O ₃	0.22	0.16	0.10	2.58	4.70	0.87
CaO	66.50	72.37	0.30	1.32	1.00	28.89
CaO available	-	65.92	-	-	-	-
MgO	0.50	0.39	0.43	0.40	2.16	18.28
S ₂ O ₃	2.95	0.21	-	0.01	-	-
S	-	0.084	-	-	-	-
Na ₂ O	0.06	-	0.27	0.11	-	0.34
K ₂ O	0.24	-	0.83	1.45	0.39	0.39
MnO	-	-	-	-	0.68	-
TiO ₂	-	-	-	-	0.16	-
CO ₂	-	4.16	-	-	-	-
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-

Table 02: Physical, mechanical and chemical characteristics of binders.
Source: Authors.

Figure 02 illustrates the diffractograms of the RHA, FA, and LF additions. RHA exhibits few crystalline peaks, displaying the amorphism. Crystalline cristobalite

peaks were also evident, which indicates burning without temperature control and aeration.

This pozzolan presented a greater amorphism

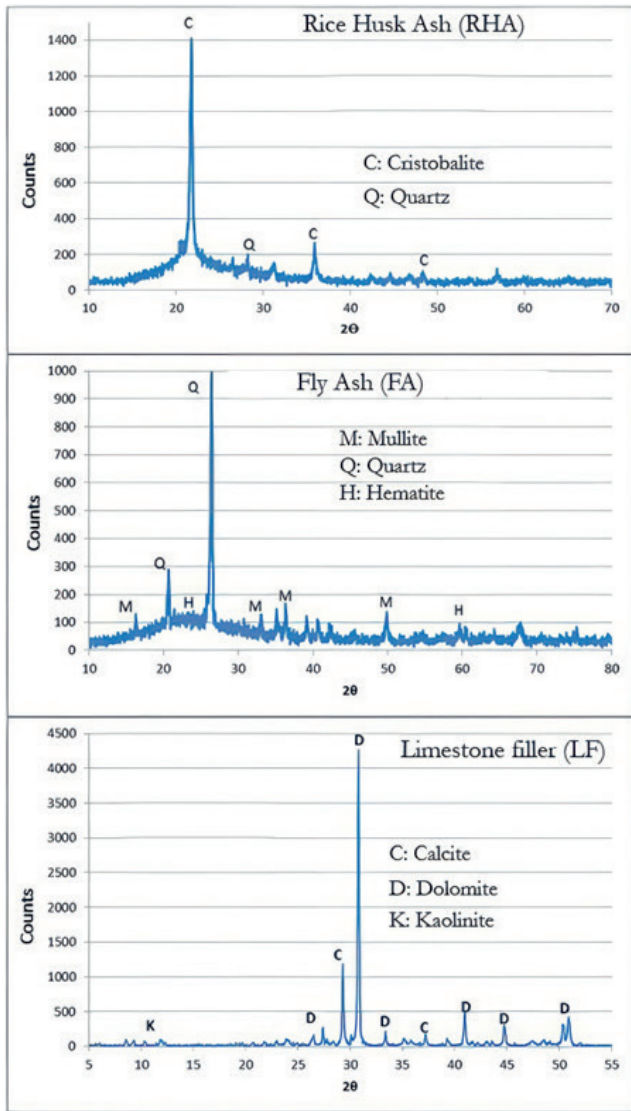


Figure 02: Diffractogram of rice husk ash (RHA), fly ash (FA), limestone filler (LF).
Source: Authors.

halo, especially between angles 2θ , 15 and 30° . The FA presented peaks of quartz (Q), mullite (M), and hematite (H). The LF, on the other hand, presented high dolomite and calcite peaks.

Figure 01 illustrates the particle size distribution of the aggregates and Table 03 presents the physical and chemical characteristics. The average diameters of quartz powder, industrial sand, and foundry sand are $15.33 \mu\text{m}$, $175.57 \mu\text{m}$, and $346.26 \mu\text{m}$, respectively.

2.1. Definition of mixtures, molding, and curing

It was performed the theoretical particle packing of the aggregates and binders. The packing was evaluated using the Elkem Materials Mixture Analyser (EMMA) software, seeking a higher densification of

the concrete.

The main input data for EMMA are the particle size curve (obtained by laser granulometry), the diameter at 50%, the maximum and minimum particle sizes, and the materials' specific mass. After including the constituents' data, the mixtures' proportions were informed, with the amount of each material that composes the concrete and the amount of water. For the evaluation of the packing, it is necessary to define the value of the distribution modulus (q), one of the modified Andreassen method's parameters.

The distribution modulus represents the fine (powder) and coarse particles ratio. Hüsken and Brouwers [19] state that values of q lower than 0.25 are ideal to obtain concretes rich in fine particles. Brouwers and Radix [20] consider that a value of q equal to 0.25 is ideal to obtain self-compacting concretes, even when using coarse aggregates. Yu *et al.* [9] used a value of q equal to 0.23 for the production of ultra high-performance concretes employing cement and silica fume as binders, with water/cementitious material ratios ranging from 0.23 to 0.33.

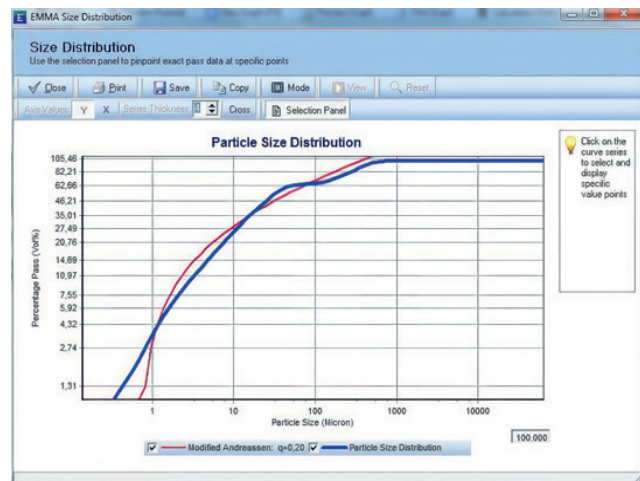


Figure 03: Packaging by Modified Andreassen method for RHA10-FAV5 mixture in EMMA.
Source: Authors.

In this study, it was adopted q equal to 0.20, because the concretes produced were reactive powders and self-compacting. Figure 03 presents the packing of the RHA10-FA5 mixture as an example.

For all mixtures it was set w/cm ratio of 0.20, based on the dosage studies of [21], [22], and [23]. The final strokes were determined from the previous results. Table 04 presents the mixtures in 1:1.2 (cementitious materials, aggregates) mass ratio. This value was adopted based on previous research and preliminary workability and strength tests.

Properties	Quartz powder	Industrial sand	Foundry sand
Physical			
Especific mass (g/cm ³)	2.65	2.64	2.60
Unit mass (g/cm ³)	0.92	1.48	1.46
#18 = 1.000 mm (%)	0.10	0.00	-
#20 = 0.850 mm (%)	-	0.00	-
#30 = 0.600 mm (%)	7.60	0.00	-
#40 = 0.425 mm (%)	-	0.10	-
#50 = 0.300 mm (%)	-	0.20	-
#70 = 0.212 mm (%)	-	1.50	-
#100=0.150 mm (%)	-	33.70	-
#140 = 0.106 mm (%)	-	59.50	-
#200 = 0.075 mm (%)	-	4.60	-
#270 = 0.053 mm (%)	-	0.50	-
# 325 µm (%)	7.60	-	-
Fineness modulus AFS (American Foundry Society)	-	91.40	-
Clay AFS (American Foundry Society)	-	0.12	-
Fines - sum of the #200, 270 e fundos (%)	-	5.10	-
Humidity (%)	0.10	0.04	-
Temperature (°C)	25.00	26.00	-
Absorption (%)	0.05	-	-
Chemical analysis (%)			
Loss to fire	0.11	0.09	-
SiO ₂	99.68	99.58	-
Al ₂ O ₃	0.23	-	-
Fe ₂ O ₃	0.045	-	-
TiO ₂	0.028	-	-
pH	-	5.50	-
C	-	-	44.04
O	-	-	42.10
Mg	-	5.50	1.56
Al	-	-	2.09
Si	-	-	5.40
P	-	-	1.25
K	-	-	1.35
Ca	-	-	0.39
Zn	-	-	1.82

Table 03: Physical and chemical characteristics of aggregates.
Source: Authors.

The concretes were molded in a high rotation energy mortar mixer. The chemical admixture used

Material (Mass ratio)	REF	RHA15	FA15	RHA 10-FA5	RHA 10-LF5
White Portland Cement	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Sílica fume	0.15	-	-	-	-
Hydrated lime CH I	-	0.15	0.15	0.15	0.15
RHA - 2H	-	0.15	-	0.10	0.10
FA - 1H	-	-	0.15	0.05	-
LF - 3H	-	-	-	-	0.05
Sum of cementitious materials	1.00	1.15	1.15	1.15	1.15
Quartz powder	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36
Industrial sand	0.84	-	-	-	-
Foundry sand	-	0.84	0.84	0.84	0.84
Sum of aggregates	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
Ratio water/cementitious materials (w/cm)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Superplasticizer – total content (%)	2.51	4.37	3.28	3.64	3.64
Superplasticizer – solids content (%)	1.23	2.14	1.61	1.79	1.79

Table 04: New values entered in EMMA for dosage by the modified Andreassen packing method - unitary, in mass.
Source: Authors.

was the superplasticizer TecFlow 8000, with solid contents ranging from 1.23% and 2.14% of the cementitious materials mass. The specimens were subjected to wet curing, until the test age or thermal curing at 80°C beginning. In the latter, after demolding (day after molding), the specimens were immersed in water for 24 hours at room temperature, and from the third to the seventh day, it was subjected to thermal curing. After the thermal treatment, the samples returned to wet curing until the test age.

2.2. Testing

For the concrete axial compressive strength test, it was molded nine (9) 5 x 10 cm cylindrical specimens for each test age, according to the guidelines of ABNT NBR 5738 [24] and ABNT NBR 5739 [25]. The specimens were rectified to ensure the loading surfaces' flatness. The ruptures were performed in an Instron hydraulic press, model HDX 1500, with BlueHill 3.0 data acquisition software. The tests

were performed with displacement control, with a displacement rate of 0.01 mm/s.

For the DT/DTG and FTIR testing, after the specimens broke in the axial compression test, the samples were grinded with mortar and grit hand and sieved them on a #100 sieve (0.15 mm mesh). The procedure for stopping the hydration reactions was by immersing the sample for 15 minutes in isopropanol and then filtering and washing it with diethyl ether [26]. Afterwards, the powder was dried for 10 minutes in an oven at 40 °C and put it in a closed container.

In the DT/DTG test, it was used samples of 15 ± 1 mg conditioned in alumina crucible. The samples were heated in an inert nitrogen atmosphere at a flow rate of 50 mL/min. The test's temperature range was from 20 to 1000 °C, at a temperature rise rate of 20 °C/min.

For the FTIR technique, the infrared region absorption spectrometry was verified to identify the functional groups present in the samples. For each wavenumber (cm⁻¹) there is a corresponding formation of each compound formed. The first mass losses refer to free water, and the temperature levels for this range go up to approximately 105°C. After this temperature, from 105°C up to 400°C, the mass loss corresponds to chemically combined water. This content was obtained through the Bhatti equation [26]. The mass loss from CH occurs between 400°C and 500°C. Carbonates, on the other hand, decompose between 550°C and 990°C. According to Thiery *et al.* [27], the calcium carbonate contents are determined in three ranges. Range I occurs between 780°C < T < 990°C, range II occurs between 680°C < T < 780°C, and range III occurs 550°C < T < 680°C.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

3.1. Axial compressive strength

Table 05 and Figures 04, 05 and 06 present the axial compressive strength results at 7, 28, and 91 days. Table 5 presents the results along with the ANOVA statistical analysis plus the Tukey-Kramer post hoc test. The significance level adopted in the analyses was 5%. The table has indicated the p-value. When the p-value was lower than 0.05, the difference was significant. In pairwise analyses (Tukey-Kramer), when the difference was significant, the calculated p-value was shaded, which indicates that the difference between those mixtures was statistically significant.

In Figures 04, 05 and 06 for each column is presented

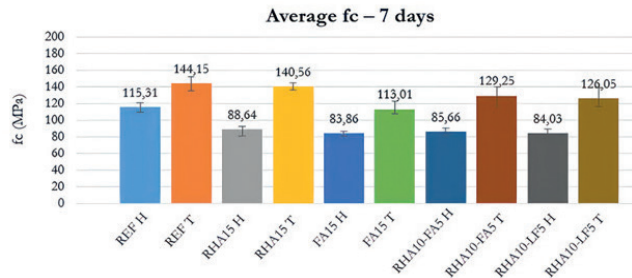


Figure 04: Axial compression strength at 7 days for the studied mixtures.
 Source: Authors.

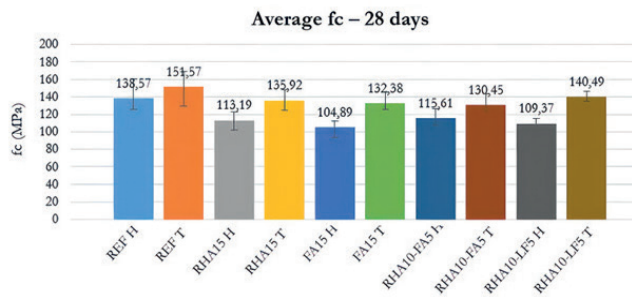


Figure 05: Axial compression strength at 28 days for the studied mixtures.
 Source: Authors.

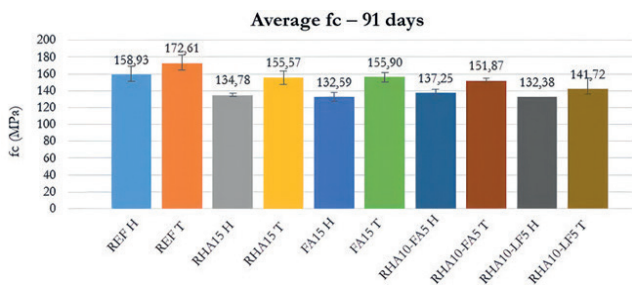


Figure 06: Axial compression strength at 91 days for the studied mixtures.
 Source: Authors.

the standard deviation of the slab. In these figures U indicates humid curing and T indicates thermal curing.

It can observe that for both wet and thermal curing, the reference mixture obtained the highest results for all ages. It was evident that at 7 days with wet curing, the strength levels are not consistent with UHPC, the reference mixture reached 115.3 MPa, while the other mixtures did not reach 100 MPa, with the results of mixtures RHA15, FA15, RHA10-FA5, and RHA10-LF5 for wet curing, being statistically equal. Thus, the performance of the studied UHPC is due to a concomitant effect of the fines and the chemical reaction of forming hydrated compounds, the latter being the main one.

The explanation is that, even changing the mineral additions, the strengths were very close for wet curing, that is, the reactivity of each addition was not significant, and the effect of the fineness was preponderant for the performance. As the EMMA software performs the initial dosing process, it evaluates only the physical packing, and

AGE / CURE	MIXTURE	MIXTURE					Significance value (ideal 5%)
		REF	RHA15	FA15	RHA10-FA5	RHA10-LF5	p
7 days – humid cure	REF		0.000	0.000	0.000	0.000	1.06E-10
	RHA15	14.380		0.049	0.252	0.163	
	FA15	20.010	4.261		0.907	0.978	
	RHA10-FA5	18.160	3.000	1.219		0.999	
	RHA10-LF5	18.520	3.370	0.809	0.392		
AGE / CURE	MIXTURE	REF	RHA15	FA15	RHA10-FA5	RHA10-LF5	p
7 days – thermal cure	REF		0.952	0.000	0.037	0.028	7.52E-05
	RHA15	1.000		0.001	0.282	0.233	
	FA15	9.507	7.109		0.038	0.050	
	RHA10-FA5	4.548	2.918	4.527		1.000	
	RHA10-LF5	4.757	3.095	4.336	0.191		
AGE / CURE	MIXTURE	REF	RHA15	FA15	RHA10-FA5	RHA10-LF5	p
28 days - humid cure	REF		0.001	0.000	0.001	0.000	2.02E-05
	RHA15	6.851		0.558	0.997	0.821	
	FA15	8.616	2.157		0.345	0.976	
	RHA10-FA5	6.673	0.482	2.694		0.588	
	RHA10-LF5	8.664	1.509	0.826	2.088		
AGE / CURE	MIXTURE	REF	RHA15	FA15	RHA10-FA5	RHA10-LF5	p
28 days - thermal cure	REF		0.006	0.003	0.001	0.368	5.22E-04
	RHA15	5.522		0.998	0.824	0.316	
	FA15	5.916	0.414		0.933	0.202	
	RHA10-FA5	6.723	1.500	1.105		0.058	
	RHA10-LF5	2.628	2.776	3.171	4.094		
AGE / CURE	MIXTURE	REF	RHA15	FA15	RHA10-FA5	RHA10-LF5	p
91 days - Humid cure	REF		0.000	0.000	0.000	0.000	7.08E-07
	RHA15	9.789		0.973	0.959	0.957	
	FA15	11.630	0.851		0.647	1.000	
	RHA10-FA5	9.565	0.958	1.954		0.566	
	RHA10-LF5	12.420	0.970	0.088	2.147		
AGE / CURE	MIXTURE	REF	RHA15	FA15	RHA10-FA5	RHA10-LF5	p
91 days - thermal cure	REF		0.001	0.006	0.026	0.000	2.34E-04
	RHA15	6.687		0.776	0.874	0.953	
	FA15	5.668	1.632		1.000	0.301	
	RHA10-FA5	4.740	1.342	0.041		0.493	
		8.149	0.996	2.843	2.318		

Table 05: Statistical analysis ANOVA and the Tukey-Kramer method of the studied mixtures.
Source: Authors.

since the UHPC has many fines, at 7 days many of these materials are still inert in the matrix, not achieving the expected performance.

On the other hand, it was noticed the thermal curing's efficiency at 7 days. The RHA15 mixture presented strength statistically equal to the REF and superior to the FA15, RHA10-FA5, and RHA10-LF5 mixtures. The RHA15 mixture had the highest RHA contents, the thinnest and most reactive addition used, and which was sensitive to thermal curing. In thermal curing at 7 days, the mixture that presented the lowest resistance was FA15. Unlike RHA, this addition is less reactive, due to its chemical and mineralogical composition and its lower fineness. Heat treatment generally results in a reduction of pores in the nanometer range and an increase in compressive strength, compared to the same sample cured under ambient conditions [28].

As expected, at 28 days, all the mixtures presented strength gains when compared to 7 days, with the exception of the thermal RHA15 mixture. Probably, this addition's high reactivity was almost entirely mobilized at early ages, being exhausted, and there was little evolution in the formation of secondary C-S-H at higher ages. As for wet curing, this mixture presented significant growth between the ages of 7 and 28 days. Indicating the mixture's lower reactivity under thermal curing. For wet curing, all mixtures with additions presented significantly lower strengths than the reference, but statistically equal to each other. As for the thermal curing, only the RHA10-LF5 mixture was statistically equal to the reference, the others were lower.

For the 91 days, thermal curing proved to be significantly influential for all mixtures except for the RHA15 mixture. The REF T mixture achieved the highest strength value, reaching 172.6 MPa, while the REF U mixture achieved 158.9 MPa. The other mixtures, for the same type of cure, presented statistically equal strengths among themselves, but lower than the reference. The RHA10-LF5 U mixture presented the lowest average measured strength, 132.38 MPa.

3.2. Thermogravimetric Analysis (TG/DTG)

Figure 07 presents the REF U mixture's TG-DTG graphic at 28 days and the REF U mixture's TG graphic with mass loss, also at 28 days. Figure 08 presents the chemically combined water (CW), CH (calcium hydroxide), and carbonate content at 28 and 91 days. The curves were separated from the test into temperature ranges. Up to 105°C free water loss occurred, between 105°C and 300°C,

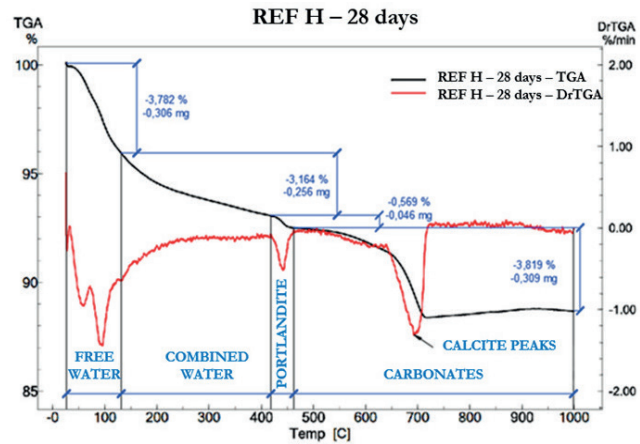


Figure 07: Axial compression strength at 91 days for the studied mixtures. Source: Authors.

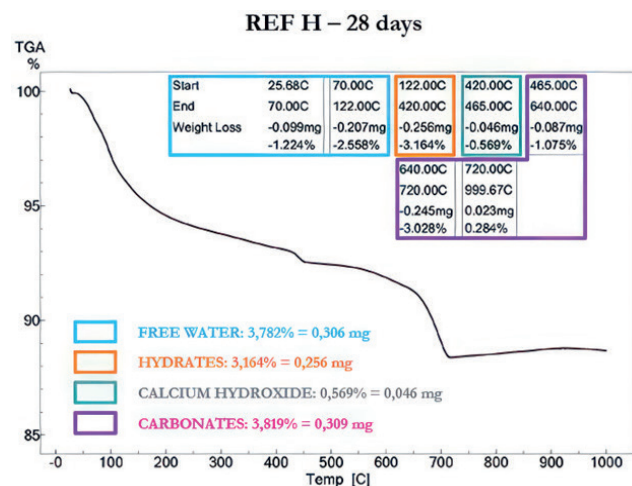


Figure 08: TG graph with mass loss of the REF U mixture at 28 days. Source: Authors.

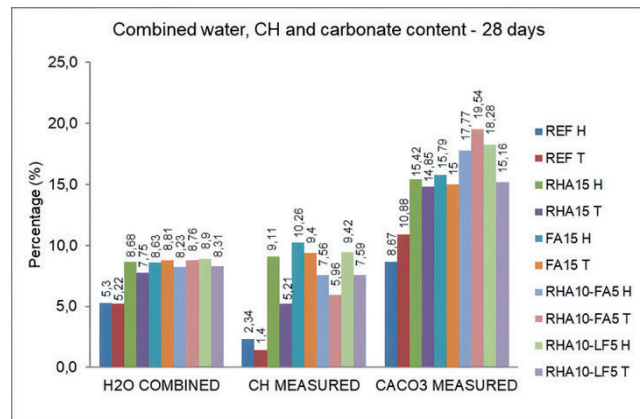


Figure 09: Chemically combined water, CH and carbonate content at 28 days. Source: Authors.

chemically combined water loss from the decomposition of C-S-H and hydrated carboaluminates occurred [29]. Between 400°C and 500°C mass loss from the portlandite (Ca(OH)₂) occurred. For temperatures above 600°C the mass loss corresponded to calcite. It can be seen in Figure 09 that at 28 days the lowest chemically combined water (CW) levels were for the REF mixtures. The pozzolanic

reaction increases CW levels, tending to consume calcium hydroxide. The reason that the REF mixture presented lower CW levels is that it has no lime addition, and it is the only mixture where the SF was used. The aim was to make a comparison of a usual UHPC, which contains SF, with the other proposed mixtures using lime, RHA, FA, LF, and foundry sand. So, in these mixtures some of the CH was not consumed by the pozzolanic reaction.

This was visible in the higher CW contents for the mixtures with mineral additions, this behavior being evidenced by the remaining CH content.

Lime was added to the mixtures, with the exception of REF, to react with the pozzolans, but due to the low w/cm ratio and the large content of fine materials, part of the cementitious materials did not hydrate, functioning as filler. The failure to completely hydrate cementitious materials was observed by [30]. These authors evaluated the degree of hydration achieved in ultra high-performance concretes with 20% partial replacement of cement by silica fume, quartz sand as aggregate and w/cm ratio of 0.14. They concluded that the degree of hydration achieved was only 31%. According to [31], complete cement hydration is only possible for w/cm ratios greater than 0.42. In concretes with mineral additions, where there is enough water for the pozzolan to react with the calcium hydroxide, there is a tendency to reduce the levels of CH in the cementitious matrix. However, in this study, a significant portion of the supplied lime did not react with the pozzolans.

It can be seen that there was no significant difference in the CW of the REF mixture's wet and thermal cures. For the mixtures with mineral additions, all presented higher CW levels when compared to the REF mixture. RHA, due to its porous structure, can absorb free water inside the molecule during mixing [32], and at later ages, when the paste's relative humidity reduces due to cement hydration, it slowly releases this water, causing pozzolanic reactions to occur at later ages.

The CW content is indicative of the amount of hydrated compounds formed, the main ones being C-S-H and CH. One hypothesis is that lime would providing CH to react with the pozzolans and refine the concrete's microstructure, improving the mechanical properties. However, as already mentioned, this hypothesis was partially verified in the results. In this way, part of the CH was not consumed by the pozzolanic reaction. This was visible in the CW contents for the mixtures with mineral additions, this behavior being evidenced by the remaining CH content. The studied UHPC's performance is due

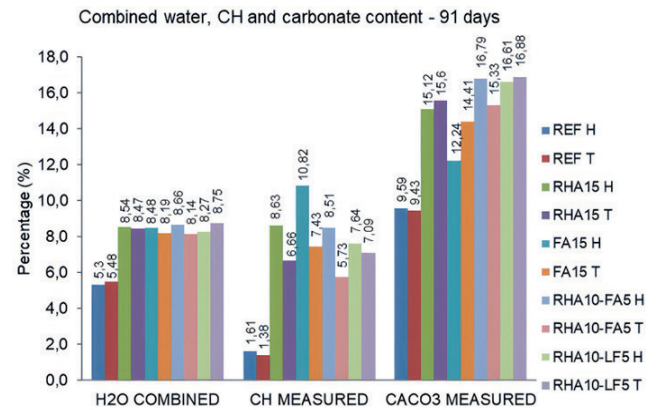


Figure 10: Chemically combined water, CH and carbonate content at 91 days.
Source: Authors.

to a concomitant effect of the fines and the forming chemical reaction of hydrated compounds.

Regarding the CHMEASURED content at 28 days, all mixtures with admixtures presented higher contents than the REF mixture. This behavior is in line with that observed for chemically combined water, where it was found the highest CW content for the mixtures with mineral additions. The highlight in CH levels was for the FA15 U mixture, with 10.82%. It is noteworthy that the FA15 mixture features 15% FA as a cement substitute and 15% lime addition. When compared to the RHA15 mixture, in which RHA was used instead of FA, it was found that RHA consumed more CH due to its greater fineness and reactivity. Moreover, the thermal treatment accelerated the pozzolanic reactions, consuming CH more intensely when compared to wet curing.

When the carbonates at 28 days were evaluated, the lowest contents were for the REF mixture, similarly to CW and CH. In contrast, the highest levels were for the RHA10-FA5 mixture, which combined FA and RHA. It is worth noting that there was no significant difference for the mixtures with mineral additions, the variation being 14.85% (RHA15 T) and 19.54% (RHA10-FA5 U). The explanation for this similar behavior is that the lime insertion would react with the pozzolans to refine the microstructure. However, this occurred in part due to the low w/cm ratio and the reduced space for the pozzolanic reaction to occur. Then a portion of the additions became inert in the mixture, evidencing the similar behavior for the carbonates.

For the 91 days it was observed the same behavior trend for the 28 days. For the REF mixture, the levels were lower than the other mixtures, with CW content of 5.30% for REF U and 5.48% for REF T. The mixtures with mineral additions presented very close CW contents, which is an indication that the physical effect was

predominant. Regarding CH, the highest content was in the FA15 U blend, with 10.82%. For carbonates, the FA15 T mixture presented the greatest increase from 28 to 91 days. It is noteworthy that this increase was similar for mixtures with mineral additions, due to the low w/cm ratio and the reduced space for pozzolanic reactions.

3.3. Fourier Transform Infrared (FTIR)

Figures 11 and 12 illustrate the FTIR spectra's results for the mixtures studied at 28 and 91 days, respectively. Between 400 and 600 cm^{-1} , C-S-H has a maximum at 450 cm^{-1} , the position for the main band of tobermorites is 490 cm^{-1} and internal deformations of the SiO_4 tetrahedra occurred. At 450 cm^{-1} the rocking mode occurs to determine the Si-O-Si incorporation rate according to [33] and [34].

Among the peaks it was observed, at 670 cm^{-1} the C-S-H gel change occurred. This change is due to exposure to high sodium concentrations [34] and it is likely to have occurred due to the sample's dilution by precipitated CaCO_3 . Since foundry sand was used in this study, which has significant sodium and potassium contents, the behavior is within the expected range. The peaks at 694 and 778 cm^{-1} correspond to elongated vibrations of SiO_4 , compatible with quartz [35]. Between 714 and 874 cm^{-1} the decomposition of carbonates occurs, indicating the reaction between Ca(OH)_2 and CO_2 , and the vibration of CO_2 from CaCO_3 also occurs [36]. For the peaks between 870 and 1420 cm^{-1} , the bands are characteristic of the O-C-O bonds of carbonates [37], [38]. It is noteworthy that these bands are due to the asymmetric stretching of CO_3^{2-} [39].

The peaks between 970 and 1004 cm^{-1} depict the asymmetric stretching vibration of Si-O-Si and Al-O-Si, and these elements are bound to silicates (quartz, amorphous silica, and glassy phases) and aluminosilicates (mullite) [44, 45]. There is an association of these peaks associated with C-S-H gel [40], which present higher levels at 91 days compared to 28 days. This behavior is due to the stretching vibrations of the SiO_4 tetrahedron's SiA- in the C-S-H gel.

For all the mixtures studied, it was observed that at 91 days the curves are modified more intensely compared to 28 days, with special emphasis on the RHA15 mixture (thermal curing). It is worth noting that this mixture presents 15% RHA, associated with the lime present, also in the 15% content, with the temperature rise provided the pozzolanic reaction generating secondary hydrated compounds.

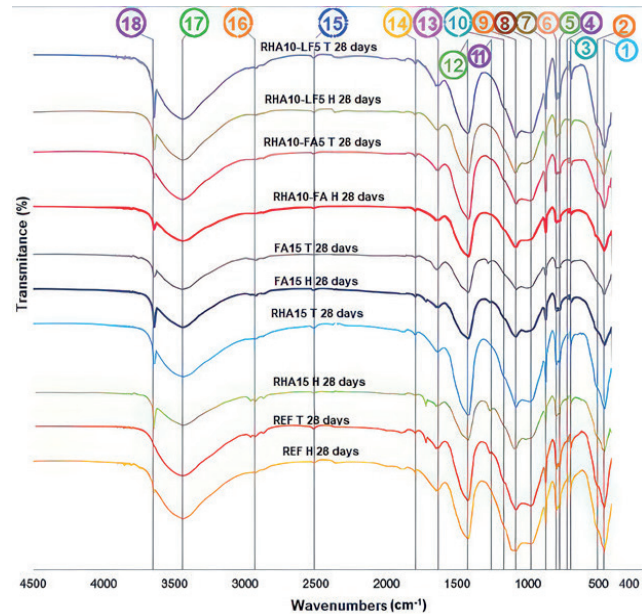


Figure 11: FTIR spectra for the studied mixtures at 28 days.
Source: Authors.

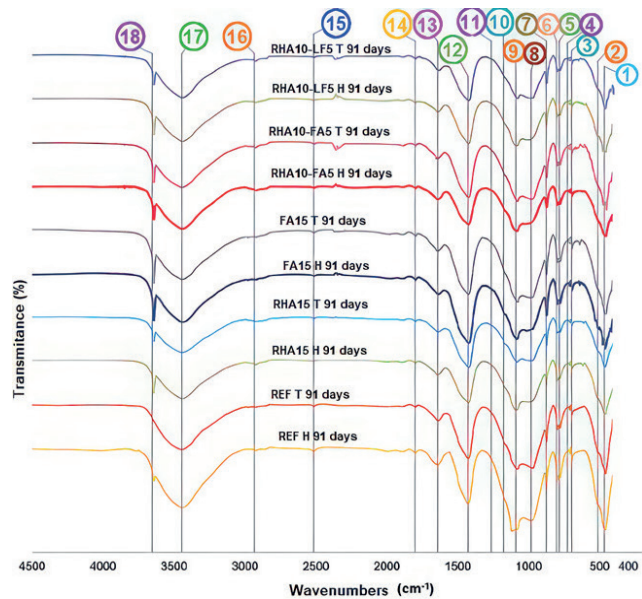


Figure 12: FTIR spectra for the studied mixtures at 91 days.
Source: Authors.

Between 1200 and 1700 cm^{-1} , the vibrations refer to the out-of-plane deformation (ν_2) of the sulfates' and/or ettringite's O-H vibration and the bands of the CaCO_3 added to the cement. In the range of 1300 and 1600 cm^{-1} there is an increase in the intensity of the bands referring to O-H bound to sulfates and ettringite [41]. Between 1400 and 1450 cm^{-1} occur C-O stretching vibrations that we can attribute to calcium carbonates [34]. It can be seen that the mixtures FA15 U and FA15 T were the ones that presented the most relevant peaks of CaCO_3 , with this sample presenting 15% of FA in substitution for cement and 15% of lime in addition to the system.

The presence of chemically combined water occurs in

the peaks at 1640 and 3445 cm^{-1} [35], [39], and [42]. The peaks at 3465 cm^{-1} correspond to CW [43]. All the mixtures in this study presented characteristic CW peaks, being more significant for the thermally cured mixtures.

The peaks at 1700 and 1795 cm^{-1} are compatible with C-O vibrations in $\text{Ca}(\text{CO}_3)$ [44]. The calcite peaks, on the other hand, are quite characteristic at 2514 cm^{-1} [45]. The C-O vibrations in CO_2 , restricted in the amorphous phase, occur in peaks at 2920 cm^{-1} [42].

The peaks at 3715 cm^{-1} represent the OH group's stretching and deformation vibration [46]. The stretching vibrations generated by the O-H bonds in the portlandite ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), due to the Ca/Si ratio in the gel, causes a certain portion of portlandite to precipitate with the C-S-H gel [22], the same behavior found by [37] and [42].

In this study it was observed that at both 28 and 91 days, the REF mixtures presented low portlandite levels. This performance ratifies the results obtained in the DRX and TG/DTG analyses. The REF mixture has the lowest portlandite content when compared to the others, due to the absence of lime addition in the mixture, in such a way that practically all the CH produced by cement hydration was consumed by the pozzolanic reaction resulting from the silica fume presence. For all mixtures with added lime, there are portlandite peaks, which indicates that the lime did not fully react with the pozzolan. At 28 days, the mixture that presented the most pronounced portlandite peaks was RHA10-FA5 T (thermal curing), however this peak reduced at 91 days, proving that there was a pozzolanic reaction. At 91 days, the most intense portlandite peak was for the FA15 U mixture (wet curing).

4. CONCLUSIONS

It was evaluated the compressive strength and microstructure of the UHPC samples with mineral additions of the RHA, FA, LF, and lime. The microstructure was evaluated with thermogravimetry (TG/DTG) and Fourier transform infrared (FTIR) techniques.

It was possible to develop eco-friendly ultra high-performance concrete using mineral additions and phenolic foundry sand, reaching strength levels compatible with this type of concrete.

All mixtures with mineral additions presented inferior performance in axial compressive strength, with the RHA15 T (thermal curing) mixture reaching levels very close to the REF, being superior to the FA15, RHA10-FA5, and RHA10-LF5 mixtures. The RHA, with the temperature elevation to 80°C, promoted a significant increase in

strength through pozzolanic reactions. At 91 days there was a tendency for the strengths for wet and thermal curing to approximate.

The use of pozzolans with different reactivity (FA: less reactive), (RHA: more reactive), and (LF: inert), promoted the synergistic effect due to the chemical interaction, making the secondary C-S-H levels high, improving as a whole the concrete's microstructure.

Regarding TG-DTG, the mixture that presented the greatest evolution in CW and CH levels was the RHA15 T mixture. The lime insertion to provide CH for the pozzolanic reaction was partially effective. There was an increase in CW levels, promoting the formation of secondary hydrated compounds, especially for the heat-treated samples.

Regarding the FTIR, for all mixtures studied, it was observed that at 91 days the curves are modified more intensely compared to 28 days, with emphasis on the RHA15 T mixture (thermal curing), highlighting the mixture with 15% RHA, which associated with the provided lime, also at 15%, with the temperature rise, provided the pozzolanic reaction generating secondary hydrated compounds.

REFERÊNCIAS

- [1] F. DESCHNER *et al.*, "Hydration of Portland cement with high replacement by siliceous fly ash", **Cem. Concr. Res.**, vol. 42, no 10, p. 1389–1400, 2012.
- [2] P. K. MEHTA, "**Pozzolanic and Cementitious By-Products in Concrete - Another Look**", in International Conference on fly ashes, silica fume, alg, and natural pozzolans in concrete, 1989, p. 1–44.
- [3] G. C. ISAIA, A. L. G. GASTALDINI, e R. MORAES, "Physical and pozzolanic action of mineral additions on the mechanical strength of high-performance concrete", **Cem. Concr. Compos.**, vol. 25, p. 69–76, 2003.
- [4] P. K. MEHTA, "Rice husk ash - A unique supplementary cementing material", in Advances in concrete technology, 2o., **V. M. Malhotra**, Org. Ottawa: Canmet, 1992, p. 407–431.
- [5] S. JUNG, V. SARASWATHY, S. KARTHICK, P. KATHIRVEL, e S.-J. KWON, "Microstructure Characteristics of Fly Ash Concrete with Rice Husk Ash and Limestone Powder", *Int. J. Concr. Struct.* **Mater.**, 2018.

- [6] B. LOTHENBACH, K. SCRIVENER, e R. D. HOOTON, "Supplementary cementitious materials", **Cem. Concr. Res.**, vol. 41, no 12, p. 1244–1256, 2011.
- [7] I. JAWED, "Hardened mortar and concrete with fly ash", in **Rilem Report 7**, 1991, p. 42–159.
- [8] K. DE WEERDT, M. BEN HAHA, G. LE SAOUT, K. O. KJELSEN, H. JUSTNES, e B. LOTHENBACH, "Hydration mechanisms of ternary Portland cements containing limestone powder and fly ash", **Cem. Concr. Res.**, vol. 41, no 3, p. 279–291, 2011.
- [9] YU, R.; SPIESZ, P.; BROUWERS, H. J. H. Mix design and properties assessment of Ultra-High Performance Fibre Reinforced Concrete (UHPRFC). **Cement and Concrete Research**, v. 56, p. 29–39, 2014.
- [10] YAZICI, H. *et al.* Utilization of fly ash and ground granulated blast furnace slag as an alternative silica source in reactive powder concrete. **Fuel**, v. 87, n. 12, p. 2401–2407, 2008.
- [11] HASSAN, A. M. T.; JONES, S. W.; MAHMUD, G. H. Experimental test methods to determine the uniaxial tensile and compressive behaviour of Ultra High Performance Fibre Reinforced Concrete (UHPRFC). **Construction and Building Materials**, v. 37, p. 874–882, 2012.
- [12] LETHAN, H.; SIEWERT, K.; LUDWIG, H. M. Synergistic Effect of Rice Husk Ash and Fly Ash on Properties of Self-Compacting High-Performance Concrete. In: SCHMIDT, M. *et al.* (Eds.). International Symposium on UHPC and Nanotechnology for High-Performance Construction Materials. 3rd. Kassel. **Proceedings**. Kassel: University Kassel Press, p. 187-196, 2012.
- [13] VAN, V.; LUDWIG, H. Proportioning optimization of UHPC containing rice husk ash and ground granulated blast-furnaceslag. **Proceedings of the 3rd International Symposium on UHPC and Nanotechnology for High Performance Construction Materials**, Kassel, Germany. p. 197-205, 2012.
- [14] LAMPROPOULOS, A. P. *et al.* Strengthening of reinforced concrete beams using ultra high performance fibre reinforced concrete (UHPRFC). **Engineering Structures**, v. 106, p. 370–384, 2016.
- [15] A. B. de N. T. ABNT, NBR 12653. **Materiais pozolânicos - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2014.
- [16] A. B. de N. T. ABNT, NBR 6473. **Cal virgem e cal hidratada - Análise química**. Rio de Janeiro, 2003.
- [17] A. B. de N. T. ABNT, NBR 9289. **Cal hidratada para argamassas - Determinação da finura**. Rio de Janeiro, 2000.
- [18] A. B. de N. T. ABNT, NBR 9289. **Cal hidratada para argamassas - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2003.
- [19] HÜSKEN, G.; BROUWERS, H. J. H. A new mix design concept for earth-moist concrete: A theoretical and experimental study. **Cement and Concrete Research**, v. 38, n. 10, p. 1246–1259, 2008.
- [20] BROUWERS, H. J. H.; RADIX, H. J. Self-compacting concrete: Theoretical and experimental study. **Cement and Concrete Research**, v. 35, n. 11, p. 2116–2136, 2005.
- [21] RICHARD, P.; CHEYREZY, M. (1995). Composition of reactive powder concretes. **Cement and Concrete Research**. v. 25, n. 7, p. 1501-1511, Oct.
- [22] AITCIN, P. C.; RICHARD, P. (1996). The Pedestrian/Bikeway Bridge of Sherbrooke. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF HIGH STRENGTH/HIGH PERFORMANCE CONCRETE, 4., 1996, Paris, France. **Anais**. Paris. p. 1399-1406.
- [23] VANDERLEI, R. D. **Análise experimental do concreto de pós reativos: dosagem e propriedades mecânicas**. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- [24] A. B. de N. T. ABNT, NBR 5738. **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2016.
- [25] A. B. de N. T. ABNT, NBR 5739. **Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.
- [26] B. LOTHENBACH, P. DURDZINSKI, e K. DE WEERDT, "Thermogravimetric analysis", in **A Practical Guide to Microstructural Analysis of Cementitious Materials**,

K. L. Scrivener, R. Snellings, e B. Lothenbach, Orgs. CRC Press - Taylor & Francis Group, 2016, p. 177–211.

[27] THIERY, M.; VILLAIN, G.; DANGLA, P.; PLATRET, G. Investigation of the carbonation front shape on cementitious materials: effects of the chemical kinetics. **Cement and Concrete Research**, v. 106, n. 37, 2007. p. 1047-1058.

[28] DEHN, F.: Ultrahochfeste Betone. In: König, G.; Tue, N. V.; Zink, M.: **Hochleistungsbeton-Bemessung, Herstellung und Anwendung**. Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 2001.

[29] L. ALARCON-RUIZ, G. PLATRET, E. MASSIEU, e A. EHRLACHER, "The use of thermal analysis in assessing the effect of temperature on a cement paste", **Cem. Concr. Res.**, vol. 35, no 3, p. 609–613, 2005.

[30] HABEL, K. *et al.* Development of the mechanical properties of an Ultra-High Performance Fiber Reinforced Concrete (UHPFRC). **Cement and Concrete Research**, v. 36, n. 7, p. 1362–1370, 2006.

[31] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **CONCRETO: Estrutura, Propriedades e Materiais**. 2a edição ed. Rio de Janeiro: Ibracon, 2014.

[32] HA, L. T.; SIEWERT, K.; H. M. **Synergistic Effect of Rice Husk Ash and Fly Ash on Properties of Self-Compacting High Performance Concrete**. Proceedings of Hipermat 2012, 3rd International Symposium on UHPC and Nanotechnology for High Performance Construction Materials. Kassel, pg 186 a 195. March 7–9, 2012.

[33] KIM, M. T. (1997). Deposition behavior of hexamethydisiloxane films based on the FTIR analysis of Si–O–Si and Si–CH₃ bonds. **Thin Solid Films**, 311(1-2), 157–163. doi:10.1016/s0040-6090(97)00683-4.

[34] GARCÍA LODEIRO, I., MACPHEE, D. E., PALOMO, A., & FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, A. (2009). Effect of alkalis on fresh C–S–H gels. FTIR analysis. **Cement and Concrete Research**, 39(3), 147–153. doi:10.1016/j.cemconres.2009.01.003.

[35] VÁSQUEZ, A., CÁRDENAS, V., ROBAYO, R. A., & de GUTIÉRREZ, R. M. (2016). Geopolymer based on concrete

demolition waste. **Advanced Powder Technology**, 27(4), 1173–1179. doi:10.1016/j.apt.2016.03.029.

[36] PARANDE, A. K., BABU, B. R., PANDI, K., KARTHIKEYAN, M. S., & PALANISWAMY, N. (2011). Environmental effects on concrete using Ordinary and Pozzolana Portland cement. **Construction and Building Materials**, 25(1), 288–297. doi:10.1016/j.conbuildmat.2010.06.02.

[37] YILMAZ, B.; OLGUN, A. Studies on cement and mortar containing low-calcium fly ash, limestone, and dolomitic limestone. **Cement & Concrete Composites**, v. 30, p. 194–201, 2008.

[38] GAO, X.; YU, Q. L.; BROUWERS, H. J. H. Properties of alkali activated slag–fly ash blends with limestone addition. **Cement & Concrete Composites**, v. 59, p. 119–128, 2015.

[39] YU, P.; KIRKPATRICK, R. J.; POE, B.; MCMILLAN, P. F.; CONG, X. Structure of Calcium Silicate Hydrate (C–S–H): Near-, Mid-, and Far-Infrared Spectroscopy. **Journal American Ceramic Society**, v. 82, n. 3, p. 742–748, 1999.

[40] MEDINA, C.; SÁEZ DEL BOSQUE, I. F.; FRÍAS, M.; SÁNCHEZ DE ROJAS, M. I. Design and characterisation of ternary cements containing rice husk ash and fly ash. **Construction and Building Materials**, v. 187, p. 65–76, 2018. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.174>>.

[41] ROMANO*, R. C. O.; FUJII, A. L.; SOUZA, R. B.; TAKEASHI, M. S.; PILEGGI, R. G.; M. A. CINCOTTO. **Monitoring hydration of ordinary Portland cement with bauxite residue (2016)** <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132016623632039>.

[42] AHMARI, S., REN, X., TOUFIGH, V., & ZHANG, L. (2012). Production of geopolymeric binder from blended waste concrete powder and fly ash. **Construction and Building Materials**, 35, 718–729. doi:10.1016/j.conbuildmat.2012.04.044.

[43] ARIFFIN, M. A. M., BHUTTA, M. A. R., HUSSIN, M. W., MOHD TAHIR, M., & AZIAH, N. (2013). Sulfuric acid resistance of blended ash geopolymer concrete. **Construction and Building Materials**, 43, 80–86. doi:10.1016/j.conbuildmat.2013.01.018.

[44] ROUSTAN, J. L.; LIJOUR, Y.; MORROW, B. A. **Time-resolved FTIR study of the adsorption and reaction of tricarbonylnitrosylcobalt on alumina**. Publication Date: July 1, 1987 <https://doi.org/10.1021/ic00262a034>.

[45] ARRIZABALAGA, I., GÓMEZ-LASERNA, O., CARRERO, J. A., BUSTAMANTE, J., RODRÍGUEZ, A., ARANA, G., & MADARIAGA, J. M. (2015). Diffuse reflectance FTIR database for the interpretation of the spectra obtained with a handheld device on built heritage materials. **Analytical Methods**, 7(3), 1061–1070. doi:10.1039/c4ay02189d.

[46] ABDULLAH, M. M AL B. 1*; HUSSIN, K.; BNHUSSAIN, M.; ISMAIL, K. N.; YAHYA, Z.; RAZAK, R. A. Fly Ash-based Geopolymer Lightweight Concrete Using Foaming Agent. **International Journal of Molecular Sciences** ISSN 1422-0067 www.mdpi.com/journal/ijms. Int. J. Mol. Sci. 2012, 13, 7186-7198; doi:10.3390/ijms13067186.

AUTORES

ORCID 0000-0002-6369-8755

BÓRIS CASANOVA SOKOLOVICZ, Dr. | Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - Campus Santo Ângelo, Curso de Engenharia civil, Santo Ângelo (RS). Av. Universidade das Missões, 464, Universitário, Santo Ângelo - RS, 98802-470. borissokolovicz@gmail.com

ORCID 0000-0003-0653-1227

GERALDO CEHELLA ISAIA, Dr. | Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-graduação em engenharia civil, Santa Maria (RS) - Brasil. Av Roraima, nº 1000, Prédio 10A, Cidade Universitária, Bairro Camobi, Santa Maria - RS, 97105-900. geraldoisaia@gmail.com

ORCID 0000-0001-5772-9933

ANDRÉ LÜBECK, Dr. | Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-graduação em engenharia civil, Santa Maria (RS) - Brasil. Av Roraima, nº 1000, Prédio 10A, Cidade Universitária, Bairro Camobi, Santa Maria - RS, 97105-900. andre.lubeck@ufsm.br

ORCID 0000-0002-8528-1344

Heliton Weide. Engenheiro civil | Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-graduação em engenharia civil, Santa Maria (RS) - Brasil. Av Roraima, nº 1000, Prédio

10A, Cidade Universitária, Bairro Camobi, Santa Maria - RS, 97105-900. helitonweide@gmail.com

COMO CITAR ESTE ARTIGO

SOKOLOVICZ, Bóris Casanova; ISAIA, Geraldo Cechella; LÜBECK, André; WEIDE, Heliton. *MIX Sustentável*, v. 9, n. 5, p. 183-199, 2023. ISSN 2447-3073. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mix-sustentavel>>. Acesso em: [_/_/_doi: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n5.183-199>](https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n5.183-199).

SUBMETIDO EM: 20/06/2023

ACEITO EM: 22/09/2023

PUBLICADO EM: 31/10/2023

EDITORES RESPONSÁVEIS: Lisiane Ilha Librelotto e Paulo Cesar Machado Ferroli

Record of authorship contribution:

CRediT Taxonomy (<http://credit.niso.org/>)

BCS: conceptualization, data curation, formal analysis, funding acquisition, investigation, methodology, validation, visualization, writing - original draft, writing - review & editing.

GCI: conceptualization, formal analysis, funding acquisition, methodology, project administration, supervision.

AL: conceptualization, data curation, formal analysis, investigation, methodology, project administration, supervision, writing - original draft, writing - review & editing.

HW: visualization, writing - original draft, writing - review & editing.

Declaration of conflict: nothing was declared.

JARDINS DE CHUVA: ATUALIZAÇÕES SOBRE A TÉCNICA A PARTIR DE UMA REVISÃO SISTEMÁTICA.

RAIN GARDENS: TECHNIQUE UPDATES BASED ON A SYSTEMATIC REVIEW.

JARDINES DE LLUVIA: ACTUALIZACIONES DE LA TÉCNICA A PARTIR DE UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

FABIO RIBEIRO GONDIM | UERJ - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

ALFREDO AKIRA OHNUMA JÚNIOR | UERJ - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

MARCELO OBRACZKA | UERJ - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

RESUMO

O processo de urbanização normalmente acarreta na degradação das águas urbanas, principalmente pelo aumento da poluição difusa carregada para os córregos. Técnicas de infraestrutura verde têm sido cada vez mais utilizadas como uma alternativa de adaptação de cidades para o controle da poluição dos rios e adaptação às mudanças climáticas. Dentre essas, o Jardim de Chuva se destaca por sua capacidade de reduzir o volume do escoamento superficial e atuar como um sistema filtrante para a poluição difusa. Apesar de ter sido desenvolvida no começo da década de 1990 nos EUA, esta técnica não é tão difundida e ainda tem sido tratada como novidade quando utilizada em grandes centros. Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo discutir o estado da arte sobre Jardins de Chuva, nos aspectos operacionais e funcionais da estrutura, abordados em pesquisas internacionais. Para isso, foi realizada uma revisão sistemática nas plataformas Science Direct e Scielo, com artigos publicados entre os anos de 2011 e 2022. Os artigos foram separados por países de origem dos pesquisadores e temas principais. A pesquisa resultou num total de 73 artigos, publicados por 11 diferentes países, com predominância de grupos americanos (48%), seguidos por Chineses (15%), australianos (11%) e canadenses (8%). Cinco temas principais foram identificados: (1) Custos de instalação e operação; (2) Capacidade de retenção de água; (3) Controle de poluição; (4) Aspectos construtivos e operacionais e (5) Fatores socioambientais. Foi observada nas publicações a tendência de abordar os custos dos jardins, sobretudo quanto à manutenção dos mesmos, além de métodos que avaliem a eficiência dos jardins de chuvas em pequenas áreas, temas importantes para a popularização da técnica.

PALAVRAS-CHAVE

Jardim de chuva; Infraestrutura verde; revisão sistemática.

ABSTRACT

The urbanization process normally leads to the degradation of urban waters, mainly due to the increase in diffuse pollution carried into streams. Green infrastructure techniques have been increasingly used as an alternative for adapting cities to controlling river pollution and adapting to climate change. Among these, the Rain Garden stands out for its ability to reduce the volume of surface runoff, and also act as a filtering system for diffuse pollution. Despite being used for more than 30 years in the USA, it is not so widespread, and it is still treated as a novelty when used in large cities. Thus, the present work aims to discuss the state of the art of Rain Gardens, in the operational and functional aspects of the structure, addressed in international research. For this, a systematic review was carried out on the Science Direct and Scielo platforms, with articles published between the years 2011 and 2022. The articles were separated into the countries of origin of the researchers and main themes. The research resulted in a total of 73 articles, published by



11 different countries, with a predominance of American groups (48%), followed by Chinese (15%), Australian (11%) e Canadian (8%). Five main themes were identified: (1) Installation and operating costs; (2) Water holding capacity; (3) Pollution control; (4) Construction and operational aspects and (5) Socio-environmental factors. Between those, it was more common the publications about the costs of the gardens, especially regarding the maintenance of the areas, in addition to methods to evaluate the efficiency of rain gardens in small areas, which are important themes for the popularization of the technique.

KEYWORDS

Rain garden; Green infrastructure; systematic review.

RESUMEN

El proceso de urbanización suele conducir a la degradación de las aguas urbanas, principalmente debido al aumento de la contaminación difusa transportada a los arroyos. Las técnicas de infraestructura verde se han utilizado cada vez más como una alternativa para adaptar las ciudades para controlar la contaminación de los ríos y adaptarse al cambio climático. Entre ellos, el Jardín de Lluvia destaca por su capacidad para reducir el volumen de escorrentía superficial y actuar como sistema de filtrado de la contaminación difusa. A pesar de haber sido desarrollada a principios de la década de 1990 en EE.UU., esta técnica no está tan extendida y todavía se ha tratado como una novedad cuando se utiliza en grandes centros. Así, el presente trabajo tiene como objetivo discutir el estado del arte sobre los Jardines de Lluvia, en los aspectos operativos y funcionales de la estructura, abordados en investigaciones internacionales. Para ello, se realizó una revisión sistemática en las plataformas "Science Direct" y Scielo, con artículos publicados entre 2011 y 2022. Los artículos fueron separados por países de origen de los investigadores y temas principales. La investigación dio como resultado un total de 73 artículos, publicados por 11 países diferentes, con predominio de grupos estadounidenses (48%), seguidos de chinos (15%), australianos (11%) y canadienses (8%). Se identificaron cinco temas principales: (1) Costos de instalación y operación; (2) Capacidad de retención de agua; (3) Control de la contaminación; (4) Aspectos constructivos y operativos y (5) Factores socioambientales. Se observó en las publicaciones la tendencia a abordar los costos de los jardines, especialmente en lo que se refiere a su mantenimiento, así como métodos que evalúan la eficiencia de los jardines de lluvia en áreas pequeñas, temas importantes para la popularización de la técnica.

PALABRAS CLAVE

Jardín de lluvia; infraestructura verde; soluciones basadas en la naturaleza; contaminación difusa.

1. INTRODUÇÃO

De maneira geral, o processo de urbanização ocorre com a degradação das águas urbanas, sobretudo causada por ocupações desordenadas e irregulares (Targa *et al.*, 2012). O aumento da poluição difusa carreada para os córregos urbanos, consequência da impermeabilização dos terrenos, do aumento do escoamento superficial, dos poluentes atmosféricos e dos resíduos das próprias ruas e calçadas direcionados para a drenagem urbana, contribuiu para a degradação destes cursos hídricos (Carstens; Amer, 2019; Hua *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2020; Xu *et al.*, 2019).

Em oposição a técnicas tradicionais de drenagem urbana, conhecidas como de infraestrutura cinza, técnicas de infraestrutura verde têm sido cada vez mais utilizadas como uma alternativa de adaptação de cidades em função das mudanças climáticas, sobretudo de grandes metrópoles (Rosenberger *et al.*, 2021).

Cidades americanas, como Baltimore e Washington D.C, em 8 e 13 % da área da bacia, respectivamente, implantaram algum tipo de infraestrutura verde, com alteração de até 44% na redução dos valores dos picos de eventos de chuva intensos entre elas (Pennino *et al.*, 2016).

A técnica conhecida como jardins de chuva tem como origem as trincheiras de infiltração, como técnicas compensatórias de drenagem urbana, porém, diferencia-se por sua concepção básica. Os jardins de chuva constituem estruturas que não somente têm a capacidade de reduzir o volume do escoamento superficial, mas também de atuar como um sistema filtrante para a poluição difusa e de controle no microclima e no bem estar da população local, com a melhora paisagística local (DER, 2007; OBWB, 2021; Song, 2022).

Ainda na década de 90, o Departamento de Recursos Naturais dos Estados Unidos (DER) lançou o primeiro manual de técnicas alternativas de drenagem urbana, posteriormente denominadas como estruturas de desenvolvimento de baixo impacto, ou “Low Impact Development” (LID) (DER, 1999).

Esses trabalhos tiveram como objetivo direcionar as águas das chuvas, oriundas das áreas impermeáveis, para valetas, canteiros ou mesmo depressões do terreno, como medidas de retenção e de infiltração da água no solo.

De modo similar, os jardins de chuva facilitam a retenção da água no solo de forma distribuída, de acordo com suas dimensões, passando da concepção do manejo das águas pluviais urbanas baseado em ações de “drenar”, “direcionar” e “despachar”, para um conceito de

desenvolvimento de baixo impacto que privilegia intervenções de “desacelerar”, “espalhar” e “infiltrar” as águas urbanas (OBWB, 2021; UACDC, 2010).

Jardins de chuva ou canteiros pluviais constituem sistemas de biorretenção, instalados em cotas mais baixas dos terrenos, onde a drenagem é conduzida para área de jardim com solo preparado com terra, areia de gramatura grossa, britas e drenos (UACDC, 2010).

Com o objetivo de reduzir o impacto causado pela impermeabilização do solo, os jardins de chuva foram primeiramente utilizados no condado de Prince George, no estado americano de Maryland (DER, 1999). Composto por grandes centros comerciais, mercados e lojas de departamento, com grandes áreas disponíveis de estacionamentos. Essas áreas apresentam ruas largas, normalmente com 12 metros de largura, e urbanização direcionada para o uso de automóveis (Mess, 2005).

Assim como várias cidades suburbanas americanas, o condado de Prince George tem uma área relativamente plana e possui baixa densidade demográfica, se comparado a centros urbanos e a subúrbios brasileiros.

Apesar de realizadas há praticamente 30 anos, as pesquisas sobre jardins de chuva podem ser ainda encontradas com objetivos dispersos, aparentemente vinculados ao tempo de maturidade da pesquisa local com o tema. Isso pode ser observado nos trabalhos publicados por diferentes grupos, com o objetivo de: (i) avaliar dados de efetividade das estruturas ou metodologias para medição dessa eficácia e (ii) melhorar a operação dos jardins de chuva para que tenham funcionalidades otimizadas no tempo. Há ainda pesquisas voltadas para aferição dos custos ou mesmo para entender as formas de divulgação da prática (Ma *et al.*, 2018; Morash *et al.*, 2019; Nichols *et al.*, 2021). Em outras revisões sistemáticas sobre o tema, os autores classificaram os artigos quanto ao tipo de infraestrutura, para avaliação de diversos tipos de infraestruturas verdes, com base em suas capacidades de retenção de água e poluentes, processos de filtragem e perspectivas futuras (Li *et al.*, 2021). Quando avaliado somente um tipo de estrutura (técnica), como no caso de telhados verdes, são obtidos históricos das técnicas mais utilizadas para construção (Shafique *et al.*, 2018), porém esta revisão não é encontrada para jardins de chuva especificamente.

Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo discutir, a partir de uma revisão sistemática nas plataformas Science Direct e Scielo, o estado da arte de pesquisas internacionais sobre jardins de chuva, nos aspectos operacionais e funcionais da estrutura.

2. METODOLOGIA

Devido à alta velocidade na geração de conhecimento, nos mais diversos campos da ciência, manter as revisões de bibliografia que se propõem a realizar o levantamento do estado da arte de um determinado tema, atualizado e com conhecimento espacial não fragmentado, vem se tornando uma tarefa extremamente complexa (Snyder, 2019).

A revisão sistemática de literatura é uma ferramenta chave para esse levantamento de informações científicas, que, no processo de investigação acadêmica, gerencia e analisa a diversidade do conhecimento, de forma clara, metódica e fiel (Tranfield *et al.* 2003).

Desta forma, a metodologia adotada neste trabalho foi baseada na revisão sistemática da literatura, utilizando como termo de indexação, no idioma inglês, a expressão “rain garden”, somente quando citada no título, no resumo ou nas palavras chaves dos artigos disponibilizados. Para a pesquisa, foram utilizadas as plataformas de pesquisas de periódicos Science Direct e do Scielo e, como critério de exclusão temporal, foram selecionados os artigos publicados entre os anos de 2011 e 2022.

Como realizado por Guasselli (2022), o processo de seleção ocorreu em duas etapas. Na primeira, foi realizada a análise dos títulos e resumos de todos os artigos coletados, aceitando-os ou rejeitando-os conforme os critérios de inclusão e exclusão. Após esta primeira etapa de avaliação, os estudos aceitos foram submetidos a uma segunda filtragem através da leitura completa de seus conteúdos.

A busca inicial resultou em um total de 108 artigos. Na análise dessa seleção inicial, foram contemplados aqueles que avaliaram a aplicação de um jardim de chuva, apresentando ou a metodologia construtiva, ou dados referentes ao seu impacto em relação ao meio, fosse por avaliação em campo ou simulações computacionais. Desta forma, foram excluídos artigos que não tivessem como foco os jardins de chuva propriamente ditos, mas que somente os citassem no contexto da Infraestrutura Verde, resultando, assim, na seleção final de 73 artigos.

Os artigos foram organizados por ano de publicação e país do grupo responsável pela pesquisa. Os artigos então foram segregados em 5 (cinco) temas principais: (1) Custos de instalação e operação; (2) Capacidade de retenção de água; (3) Controle de poluição; (4) Aspectos construtivos e operacionais e (5) Fatores socioambientais.

Nos artigos selecionados, também foram identificados os resultados comparativos dos parâmetros de qualidade da água obtidos com a utilização da estrutura, assim como sua interferência na quantidade e vazão do

escoamento da água e sua capacidade de retenção de água da chuva.

3. RESULTADOS

Quando observado os subtemas das publicações, o foco das pesquisas variou bastante: Custos de instalação e operação (9 artigos); Capacidade de retenção de água (13 artigos); Controle de poluição (22 artigos); Aspectos construtivos e operacionais (19 artigos) e Fatores socioambientais (9 artigos).

O estudo demonstrou que nos últimos 10 anos, desde 2011, os Estados Unidos foram os responsáveis por 48% das publicações encontradas nas bases de dados, publicando no mínimo um (1) artigo por ano, entre 2011 e 2013, e no máximo 6 artigos por ano, entre os anos de 2019 e 2021.

O segundo país que mais publicou nas bases de dados nos anos pesquisados foi a China, com 15% das publicações. Grupos chineses publicaram no mínimo 1 artigo em 2020 e 2022, e no máximo 4 em 2021, apresentando claramente aumento no número de publicações sobre o tema nos últimos anos. Essa crescente foi levantada por Chan *et al.* (2018) ao descrever o programa de Cidades Esponjas da China como a possível solução para o uso sustentável da água e o controle de enchentes.

Outros países que se destacaram foram a Austrália e o Canadá, com 11 e 8% respectivamente das publicações no período, como pode ser observado no gráfico abaixo (Gráfico 01).

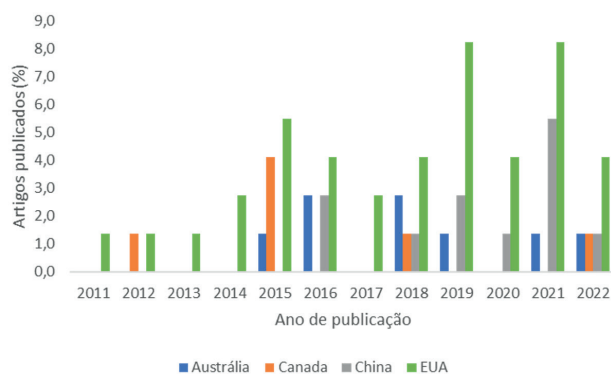


Gráfico 01: Quantidade de publicações sobre o tema Jardim de Chuva pelos 4 países que mais publicaram entre os anos pesquisados, em porcentagem.

Fonte: os autores.

Os demais países com publicações sobre o tema foram, em ordem decrescente: Coreia do Sul, Polônia, Itália e Suécia, todos com 3 (três) artigos publicados no período; Brasil, com 2 (duas) publicações, e Espanha, Noruega, Reino Unido, República Checa, Holanda e Colômbia, com 1 (uma) publicação cada. Cabe ressaltar que apesar do

histórico da Holanda na implantação de infraestruturas verdes nas cidades (Stobbelaar *et al.*, 2022), como no caso de Roterdã e Amsterdã (Paulin *et al.*, 2019), praticamente não foram encontrados artigos publicados por grupos locais sobre o tema.

Essa tendência pode ser explicada pelo fato de os Estados Unidos terem sido o país pioneiro sobre o tema, desenvolvendo as principais técnicas e softwares de análise de dados utilizados atualmente. Porém, uma vez que a tecnologia foi difundida, diversos outros países também implementaram suas políticas e projetos sobre a temática, adaptando os métodos desenvolvidos para suas realidades (Chan *et al.*, 2018; Cui *et al.* 2021; Lim & Lu, 2016; Perales-Momparler *et al.*, 2017).

3.1. Custos de instalação e operação

Os artigos selecionados nesta categoria apresentaram relação com os custos, fossem sobre os custos diretos da instalação de uma estrutura ou da manutenção da mesma, normalmente apresentado no formato de relação do custo por área beneficiada.

Os custos de instalação de um jardim de chuva podem variar bastante, pois dependem do tamanho do jardim, do país onde será instalado, do tipo de vegetação utilizada, do tipo de solo, se haverá ou não sistema de drenagem e mesmo se haverá algum sistema de automação, para monitoramento e irrigação do jardim (SIWIEC *et al.*, 2018).

A Agencia Americana de Meio Ambiente (EPA) estima que o custo básico para a instalação de jardim com 18,5 m² (200 ft²) varie de US\$1.000 a US\$1.300, ou seja, de US\$54/m² a US\$70/m² (Meng & Hsu, 2019). Valores semelhantes são referência para o programa de cidades esponjas da China, que estima em US\$50/m² o custo da instalação de um jardim de chuva (Han *et al.*, 2021; Roy *et al.*, 2014). Na Polônia, a estimativa é de US\$200/m². Este valor é 3 a 4 vezes maior que as estimativas anteriores, resultado que pode ser fruto da baixa quantidade de jardins implantados (SIWIEC *et al.*, 2018). Já no Brasil, este custo foi estimado em US\$115/m², para um jardim construído para tempo de retorno de 2 anos (Melo *et al.*, 2014).

Outro valor importante para levar em consideração é o custo da manutenção do jardim. Apesar de poder apresentar grande variação, a depender das diferenças de clima, solo e vegetação utilizada, além de uma eventual troca do sistema de drenagem ou de mecanismo de automação, este custo pode ser o mesmo da manutenção de um jardim comum (Siwiec *et al.*, 2018), estimado em US\$50/ano nos EUA (Meng & Hsu, 2019) e US\$39/ano na

China (Han *et al.*, 2021; Roy *et al.*, 2014).

Sobre a manutenção, cabe ressaltar a opção de um sistema de automação, que requer investimento mais alto no processo de instalação do jardim, mas pode gerar economia ao longo do tempo, seja com pessoal ou com consumo de água. Em entrevistas realizadas com gestores de diferentes cidades dos EUA, foi constatado que estes aceitavam gastar até 13% a mais na instalação de um jardim para ter instalado um sistema automatizado de irrigação (Meng & Hsu, 2019).

Os custos de uma infraestrutura verde também podem ser quantificados quanto ao seu serviço ambiental, levando em consideração o grau de efetividade da estrutura na remoção de poluentes e na retenção de água, dentre outros (Heidari *et al.*, 2022). O custo energético para instalação de um jardim também vem sendo tratado, incluindo itens como o transporte dos materiais para o local, o processo de mineração para produção da brita e a própria instalação (Law *et al.*, 2017).

Outra forma indireta de valoração de jardins de chuva diz respeito à valorização de imóveis ao redor das estruturas (Roy *et al.*, 2014; Hoover *et al.*, 2020), porém esse cálculo feito isoladamente ainda não apresenta resposta clara, devendo incluir outros parâmetros, como os benefícios ambientais para que se diferencie de áreas verdes tradicionais (Siwiec *et al.*, 2018). Cabe ressaltar que o próprio desconhecimento sobre a técnica é um fator que dificulta pesquisas sobre valorização de áreas urbanas (Hoover *et al.* 2020).

Ao comparar diversas infraestruturas verdes, o jardim de chuva é considerado um dos mais eficazes, com melhor custo-benefício, ficando atrás somente do plantio de árvores nas cidades, seguido pelo telhado verde. Mesmo assim, todos são superiores ao asfalto poroso, considerado de alto custo e baixo tempo de vida (Law *et al.*, 2017; Heidari *et al.*, 2022).

Os jardins de chuva ainda são mais vantajosos quando instalados em pequenos lotes urbanos do que em grandes áreas da bacia, devendo se priorizar nessas situações estruturas com maiores capacidades de retenção de água (Heidari *et al.*, 2022).

Já através de programas de modelagem, o melhor resultado quando levadas em consideração diferentes infraestruturas verdes e sua eficiência na remoção de poluentes, retenção de água e custos de instalação, foi obtido quando utilizados: jardins de chuva em 3,75% da área da bacia, mais 3,75% de telhados verdes e 7,5% de pavimento permeável, o que resultou na redução de 73,7% do escoamento superficial e 77,7% do sólido em suspensão (Gao *et al.*, 2021).

3.2. Capacidade de retenção de água

Em simulações computacionais, a implantação de jardins de chuva em uma bacia é capaz de reduzir de 11 a 20% o escoamento superficial da bacia durante períodos de chuvas (Kaykhosravi *et al.*, 2022; Liu *et al.*, 2022).

Quanto a capacidade de regulação hidrológica de um jardim, estes são mais efetivos na contenção de chuvas de baixa intensidade do que de alta intensidade, uma vez que neste último caso estruturas complementares seriam necessárias para reter e liberar o volume escoado lentamente (Qin, 2020; Heidari *et al.*, 2022).

Dentre os fatores que influenciam a capacidade de retenção da água de chuva nos jardins estão a profundidade do solo, a relação de tamanho da estrutura com área de captação (WANG *et al.*, 2019), o tipo de solo, a vegetação existente (Yuan & Dunnett, 2018; Johnston *et al.*, 2020) e o clima da região (Géhéniau *et al.*, 2015; Khan *et al.*, 2012a).

Jardins com profundidade maior do que 40 cm, razão acima de 20% entre tamanho do jardim e a área de captação e condutividade hidráulica do solo abaixo de 10 cm/h conseguem reter entre 21 e 75% da água da chuva, conforme apresentado com a utilização do modelo numérico “recharge” (Wang *et al.*, 2019).

A vegetação, como citado anteriormente, exerce papel fundamental na retenção de água do jardim. Um exemplo é que um jardim vegetado consegue reter 25% mais água se comparado a um jardim sem vegetação. Esta variação também é observada com jardins vegetados com diferentes espécies, podendo variar de 30 a 50% a capacidade de retenção de água, retendo mais aquele com maior densidade de raízes (Johnston *et al.*, 2020).

Quanto ao clima, a capacidade de um jardim reter água durante eventos chuvosos em climas frios pode variar em até 60% entre o verão e o inverno (Géhéniau *et al.*, 2015), uma vez que durante o inverno parte da água no solo pode congelar (Khan *et al.*, 2012a).

Também é possível utilizar técnicas construtivas para ampliar a capacidade de retenção de um jardim, como a instalação de válvulas de controle de fluxo no tubo de saída da água do jardim, onde é possível fechar para reter mais água ou aliviar quando a retenção não for mais necessária (Guo & Luu, 2015).

Para avaliação da eficiência de um jardim, é importante quantificar a taxa de evapotranspiração do mesmo, porém, por ser uma medida de difícil mensuração, poucos estudos o fazem (Ebrahimian *et al.*, 2019).

A Tabela 01 apresenta um resumo de características

e resultados a partir de referências e estudos publicados em artigos de periódicos internacionais:

Autores / data	Cidade do estudo	Pais do estudo	Área de captação	Área com JC	Redução (%)
Pennino <i>et al.</i> , 2016	Baltimore, Washington D.C e Montgomery Country	EUA	N.D.	N.D.	26 – 40
Autixier <i>et al.</i> , 2014	Montreal	Canada	N.D.	N.D.	13 – 19
Ahiablame & Shakya, 2016	Illinois	EUA	345 ha	25%	5 – 28
Géhéniau <i>et al.</i> , 2015	Quebec	Canadá	3,8 m ²	6,4%	54,8 ± 2,7
Khan <i>et al.</i> , 2012	Calgary	Canadá	320 m ²	10%	91,5
Kaykhosravi <i>et al.</i> , 2022	Toronto	Canadá	N.D.	N.D.	8,9 a 11,3
Johnston <i>et al.</i> , 2020	Wisconsin	EUA	34,8 m ²	17%	25
Liu <i>et al.</i> , 2022	Xi'an	China	0,26 km ²	9,4%	24
Reis & Ilha, 2014	Campinas	Brasil	50 m ²	6%	17,2

Tabela 01: Resumo de dados sobre as alterações na vazão do escoamento superficial, após a implementação de um jardim de chuva, conforme os estudos levantados.
Fonte: os autores.

3.3. Controle da poluição

Jardins de chuva são consideradas estruturas eficientes na remoção de poluentes físicos, químicos e biológicos carregados pela água da chuva. Diversos são os fatores que interferem na sua capacidade de retenção de poluentes, como: a diversidade biológica, a composição do substrato, a temperatura do ar, a umidade do solo e o tempo de funcionamento da estrutura (Søberg *et al.*, 2017; Yue *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2019; Rainey *et al.*, 2022). Concentrações de *Escherichia coli*, *Campylobacter* spp., coliformes fecais, assim como hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, hidrocarbonetos de petróleo, chumbo, zinco, dentre outros metais pesados e inclusive pesticidas, são retidos e absorvidos com emprego dessas estruturas (Zhang *et al.*, 2015; Géhéniau *et al.*, 2015; Maniquiz-Redillas & Kim, 2016; Chandrasena *et al.*, 2016).

A diversidade vegetal exerce influência no processo de remoção de poluentes, sendo que aqueles mais diversos, com maior número de espécies, armazenam maiores

quantidades de poluentes do que jardins com monoculturas (Morash *et al.*, 2019).

Além de maior quantidade de espécies, ainda é possível estimular processos de fitorremediação com a adição de lodo ativado ao jardim, oriundo de estações de tratamento de esgoto (Yue *et al.*, 2018), uma vez que isto auxilia na propagação de fungos micorrízicos, os quais auxiliam as plantas na absorção de nitratos (Winfrey *et al.*, 2017).

Diferentemente das plantas, a fauna apresenta um padrão de povoamento dos jardins como oportunista, por causa da maior sensibilidade das espécies. Sua ocorrência e diversidade vai estar relacionada ao tipo de poluente existente no solo, se orgânico ou inorgânico, se captado por telhados ou áreas utilizadas como estacionamento de veículos (Hong *et al.*, 2018). De qualquer forma, após um ano de implantado, já é possível observar o aumento da riqueza e diversidade da biota do solo (Buzzard *et al.* 2021). É o caso de jardins ricos em nitratos, onde os anelídeos são a espécie mais abundante (Mehring *et al.*, 2016).

Quanto a origem da água captada pelo jardim, aqueles oriundos de estacionamentos apresentam 3 (três) vezes mais sólidos em suspensão e taxa de carbono orgânico total, além de 50% mais de metais pesados, quando comparados com aqueles com água captada por telhados (Hong *et al.*, 2018).

Porém, a origem dos poluentes pode não ser somente pela água oriunda do escoamento superficial, como ocorre no caso do fósforo, que pode ter origem na adubação periódica realizada nos jardins (Karczmarczyk & Kaminska, 2020).

Quanto à presença dos poluentes, eles ainda podem se combinar quimicamente ou se aderir fisicamente, como observado com metais pesados que aumentam proporcionalmente com o aumento dos sólidos suspensos (Maniquiz-Redillas & Kim, 2016).

A remoção também vai depender do volume e tempo da precipitação, sendo que os jardins são mais eficientes na remoção de metais em chuvas com volumes maiores do que 15 mm do que com 5 mm, por aquelas apresentarem os metais mais dissolvidos (Maniquiz-Redillas & Kim, 2016). O contrário foi observado em um jardim de chuva experimental na Universidade de Catarrena, onde quando a entrada da água no jardim foi superior a 0,32 L/min/m², a retenção de nitrogênio total se tornou nula (Fajardo-Herrera *et al.*, 2019).

Ao escoar para dentro de um jardim de chuva, os poluentes escoados pela chuva têm o primeiro contato com as camadas mais superficiais do solo, ficando normalmente retidos nos primeiros 20 cm de solo, quando analisada a retirada de carbono da atmosfera (Al-Ameri *et al.*, 2018;

Kavehei *et al.*, 2019). Já quando observadas as concentrações de nitratos, fosforo e carbono orgânico total trazidas pelo escoamento superficial, os valores são maiores nos primeiros 50 cm de solo (Guo *et al.*, 2019).

Cabe ressaltar, porém, que o tempo de vida do jardim pode influenciar negativamente a capacidade deste na redução de poluentes como amônia, nitrato, sólidos totais, fósforo total e nitrogênio total (Guo *et al.*, 2018).

Com base nos artigos da Tabela 02 são apresentados os resultados de remoção de poluentes com o uso de jardins de chuva: por autor e ano da publicação, local do experimento, área do JC em relação a área de captação, tipo de poluente analisado e sua respectiva taxa de remoção.

Autores / data	Cidade	Pais	Relação JC / captação	Poluente analisado	Taxa de remoção (%)
Wilfong et al., 2021	Maryland	EUA	N.D.	Cobre (Cu)	90 a 99
Khan et al., 2012b	Calgary	Canadá	N.D.	DBO	8
Khan et al., 2012b	Calgary	Canadá	N.D.	Fósforo total	0,6
Wang et al., 2019	N.D.	Diversos locais	N.D.	Fósforo total	>67 (média)
Wang et al., 2021	Zhenzen	China	N.D.	Nitrogênio total	18 a 53,7
Wang et al., 2019	N.D.	Diversos locais	N.D.	Nitrogênio total	>51 (média)
Gu et al., 2019	Carolina do Norte	EUA	N.D.	Sal	0,03 a 4,75
Lim & Lu, 2016	Singapura	Singapura	4%	Sólidos totais	78
Géhéniau et al., 2015	Montreal	Canadá	6,4%	Sólidos totais	74,5
Khan et al., 2012b	Calgary	Canadá	N.D.	Sólidos totais	96

Tabela 02: Resumo de dados sobre a remoção de poluentes do escoamento superficial, após a implementação de jardins de chuva, conforme os estudos levantados.
Fonte: os autores.

3.4. Aspectos construtivos e operacionais

Os jardins de chuva podem ser construídos de diversas formas e compostos por diversos materiais, a depender das tecnologias disponíveis na região e da disponibilidade financeira, o que pode ter grande impacto na capacidade

de retenção de poluentes ou de água (Tirpak *et al.*, 2021; Valinski & Chandler, 2015).

Para aumentar a retenção de água e poluentes, já foram testados briquetes de madeira misturados ao solo da estrutura, o que apresentou resultados positivos para a retenção de metais pesados (Géhéniau *et al.*, 2015). A instalação de válvulas que controlam o fluxo de saída da água aumenta também a absorção dos metais pesados e outras substâncias pela estrutura (Ma *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2021).

A instalação de um sistema de dispersão da água por dutos internos no jardim consegue reduzir em 18% a quantidade de nitrogênio total, quando comparado a um jardim sem este sistema (Dietz & Clausen, 2006).

Quanto ao tamanho da estrutura, um jardim com 10 a 15 % da área de captação dos telhados aparenta ser suficiente e indicado para ser instalado nas edificações (Bortolini & Zanin, 2018). Quando este tamanho é menor do que 10% da área de captação, a ocorrência de transbordamentos durante eventos hidrometeorológicos extremos se torna mais frequente, reduzindo a eficiência da estrutura (Brown & Hunt, 2011).

Em outras ocasiões, a água é captada por pátios ou estacionamentos, locais com carga poluente maior, devido a resíduos de óleos e graxas. Nesses casos, o jardim pode ser submetido a uma carga de 1 a 3 vezes maior se comparada a um jardim com captação de água somente de telhados (Hong *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2022).

Nestes casos, da mesma forma que a composição microbiana do jardim apresenta diferença, a fauna e a flora também serão impactadas (Buzzard *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2022), então a utilização de espécies mais resistentes se faz necessária e apropriada (Fowdar *et al.*, 2022; Johnston *et al.*, 2020). Inclusive, a seleção equivocada das espécies vegetais, além de reduzir a capacidade de retenção de poluentes e o processo de fitorremediação, pode inserir espécies por vezes tóxicas para pessoas ou animais (Anderson *et al.*, 2015).

Em residências dos Estados Unidos, proprietários de lotes unifamiliares ainda optam por soluções que consideram mais baratas ou simples, como barris para o armazenamento de água da chuva ou trincheiras de infiltração, quando direcionam a água do jardim para a grama. Essas medidas são mais citadas do que o próprio jardim de chuva, considerado mais complexo, caro ou desconhecido (Coleman *et al.*, 2018; Shin & McCann, 2018).

Sobre a definição das áreas mais adequadas para a instalação de um jardim, metodologias de multicritérios podem ser utilizadas para este objetivo, o que pode aumentar

além da eficiência da estrutura (Dall'ara *et al.*, 2019; Jia *et al.*, 2016), o seu ciclo de vida (Flynn & Traver, 2013).

3.5. Fatores socioambientais

O convívio de pessoas com jardins de chuva demonstra um processo de conscientização quanto à gestão da drenagem das águas pluviais e seus efeitos na infraestrutura urbana das cidades, principalmente quando as estruturas são planejadas e se encontram sinalizadas (Church, 2015). Cidadãos mais preocupados com a qualidade da água e das questões relacionadas às mudanças climáticas são os mais propícios a instalarem infraestruturas verdes, porém o desconhecimento técnico muitas vezes os impede de instalá-las (Badura *et al.*, 2021; Ureta *et al.*, 2021). Desta forma, a população se limita a implantar barreiras de retenção com a água captada pelos telhados, uma vez que acreditam que jardins de chuva são opções somente para grandes áreas, como estacionamentos e estradas (Johnston *et al.*, 2020).

Formas de estimular a adoção de jardins de chuva ou outras medidas de infraestrutura verde vêm sendo bastante debatidas ultimamente (Chaffin *et al.*, 2016; Perales-Momparler *et al.*, 2017). Acredita-se que uma vez que o poder público possui poderes limitados sobre as propriedades privadas, incentivos financeiros apresentam melhores resultados no estímulo para adoção das práticas, assim como a maior divulgação dos resultados obtidos com isso (Wilkerson *et al.*, 2022).

Para isso, uma das estratégias utilizadas na Espanha foi demonstrar os resultados do monitoramento realizado pelo período de um ano em jardins de chuva, para convencer "stakeholders" sobre a eficiência da prática (Perales-Momparler *et al.*, 2017). Somado a isso, a melhoria na comunicação e a simplificação na apresentação de resultados também foi vista como benéfica na China (Jia *et al.*, 2016).

Outro fator que chama a atenção é a conscientização da população sobre a técnica. Normalmente, a população tem maior interesse pelos benefícios estéticos do que pelos funcionais dos jardins, indicando desta forma para a implantação de novas estruturas, áreas que estejam degradadas, com histórico de distúrbios sociais (Chaffin *et al.*, 2016).

Na China, onde foi instituído o programa de cidades esponjas, uma pesquisa realizada com questionários apontou que 76% dos entrevistados afirmaram estarem dispostos a contribuir mensalmente para a manutenção das estruturas sustentáveis (Ding *et al.*, 2019).

4. CONCLUSÃO

Publicações mais atuais buscam respostas sobre as estimativas de custos dos jardins, sobretudo quanto à manutenção dessas áreas, uma vez que diferentemente de jardins comuns, que com o tempo atingem o clímax de sua vegetação, os jardins de chuva perdem sua capacidade de retenção de água, sendo necessárias manutenções periódicas.

Chama atenção também a quantidade de publicações que buscam métodos que otimizem a avaliação de eficiência dos jardins de chuvas em pequenas áreas, provavelmente como uma estratégia de popularização da técnica.

Mesmo com o tempo da existência da técnica, é possível observar que pesquisas básicas ainda continuam em andamento pelo mundo e são poucos os resultados sobre os quais é possível afirmar que existe um consenso sobre o assunto.

Essas pesquisas se mostram ainda importantes pela necessidade de maior divulgação sobre a técnica e para sua maior aceitação e implementação, principalmente como técnica para adequação das cidades para as mudanças climáticas.

O aumento da produção de artigos referentes ao tema observado na China está diretamente ligado ao amplo plano de reestruturação de suas cidades através do projeto de cidades esponjas, que adota diversas técnicas de infraestruturas verdes no remodelamento das cidades.

Na realidade, são claros os problemas urbanos causados por grandes adensamentos, carência de planejamento e fiscalização, além de baixa cobertura do sistema de esgotamento sanitário. Essa conjuntura favorece a ocorrência de alagamentos e descargas de poluentes em corpos hídricos.

Dessa forma, verifica-se a importância da pesquisa sobre os jardins de chuva no âmbito local, havendo espaço e demanda para elaboração de estudos aplicados, principalmente em países tropicais, como o Brasil.

AGRADECIMENTOS

À CAPES pelo fornecimento da bolsa de Doutorado.

REFERÊNCIA

AHIABLAME, L., & SHAKYA, R. (2016). Modelling flood reduction effects of low impact development at a watershed scale. **Journal of Environmental Management**, 171, 81–91. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.01.036>

ANDERSON, M. J., KURTYCZ, D. F. I., & CLINE, J. R. (2015). Baptisia poisoning: A new and toxic look-alike in the neighborhood. **Journal of Emergency Medicine**, 48(1), 39–42. <https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2014.09.037>

AUTIXIER, L., MAILHOT, A., BOLDUC, S., MADOUX-HUMERY, A. S., GALARNEAU, M., PRÉVOST, M., & DORNER, S. (2014). Evaluating rain gardens as a method to reduce the impact of sewer overflows in sources of drinking water. **Science of the Total Environment**, 499, 238–247. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.08.030>

BADURA, T., KRKOŠKA LORENCOVÁ, E., FERRINI, S., & VAČKÁŘOVÁ, D. (2021). Public support for urban climate adaptation policy through nature-based solutions in Prague. **Landscape and Urban Planning**, 215, 15. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104215>

BORTOLINI, L., & ZANIN, G. (2018). Hydrological behaviour of rain gardens and plant suitability: A study in the Veneto plain (north-eastern Italy) conditions. **Urban Forestry and Urban Greening**, 34(August 2017), 121–133. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.06.007>

BROWN, R. A., & HUNT, W. F. (2011). Impacts of Media Depth on Effluent Water Quality and Hydrologic Performance of Undersized Bioretention Cells. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, 137(3), 132–143. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ir.1943-4774.0000167](https://doi.org/10.1061/(asce)ir.1943-4774.0000167)

BUZZARD, V., GIL-LOAIZA, J., GRAF GRACHET, N., TALKINGTON, H., YOUNGERMAN, C., TFAILY, M. M., & MEREDITH, L. K. (2021). Green infrastructure influences soil health: Biological divergence one year after installation. **Science of the Total Environment**, 801. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149644>

CARSTENS, D., & AMER, R. (2019). Spatial-temporal analysis of urban changes and surface water quality. **Journal of Hydrology**, 569(August 2018), 720–734. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.12.033>

CHAFFIN, B. C., SHUSTER, W. D., GARMESTANI, A. S., FURIO, B., ALBRO, S. L., GARDINER, M., SPRING, M. L., & GREEN, O. O. (2016). A tale of two rain gardens: Barriers and bridges to adaptive management of

urban stormwater in Cleveland, Ohio. **Journal of Environmental Management**, 183, 431–441. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.06.025>

CHAN, F. K. S., GRIFFITHS, J. A., HIGGITT, D., XU, S., ZHU, F., TANG, Y. T., XU, Y., & THORNE, C. R. (2018). “Sponge City” in China—A breakthrough of planning and flood risk management in the urban context. **Land Use Policy**, 76(March), 772–778. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.03.005>

CHANDRASENA, G. I., DELETIC, A., & MCCARTHY, D. T. (2016). Biofiltration for stormwater harvesting: Comparison of *Campylobacter* spp. and *Escherichia coli* removal under normal and challenging operational conditions. **Journal of Hydrology**, 537, 248–259. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.03.044>

CHURCH, S. P. (2015). Exploring Green Streets and rain gardens as instances of small-scale nature and environmental learning tools. **Landscape and Urban Planning**, 134, 229–240. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.10.021>

COLEMAN, S., HURLEY, S., RIZZO, D., KOLIBA, C., & ZIA, A. (2018). From the household to watershed: A cross-scale analysis of residential intention to adopt green stormwater infrastructure. **Landscape and Urban Planning**, 180(September), 195–206. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.09.005>

CUI, L., RUPPRECHT, C. D. D., & SHIBATA, S. (2021). Climate-responsive green-space design inspired by traditional gardens: Microclimate and human thermal comfort of Japanese gardens. **Sustainability (Switzerland)**, 13(5), 1–23. <https://doi.org/10.3390/su13052736>

DALL'ARA, E., MAINO, E., GATTA, G., TORREGGIANI, D., & TASSINARI, P. (2019). Green Mobility Infrastructures. A landscape approach for roundabouts' gardens applied to an Italian case study. **Urban Forestry and Urban Greening**, 37(July 2017), 109–125. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.03.011>

DER. (1999). Low-Impact Development Design Strategies an Integrated Design Approach Low-Impact Development: An Integrated Design Approach. **Department of Environment Resource**.

DER - Department of Environmental Resources. (2007). Bioretention Manual, Prince George's County, Maryland. In **Environmental Services Division Department of Environmental Resources**.

DIETZ, M. E., & CLAUSEN, J. C. (2006). Saturation to improve pollutant retention in a rain garden. **Environmental Science and Technology**, 40(4), 1335–1340. <https://doi.org/10.1021/es051644f>

DING, L., REN, X., GU, R., & CHE, Y. (2019). Implementation of the “sponge city” development plan in China: An evaluation of public willingness to pay for the life-cycle maintenance of its facilities. **Cities**, 93(500), 13–30. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.04.007>

EBRAHIMIAN, A., WADZUK, B., & TRAVER, R. (2019). Evapotranspiration in green stormwater infrastructure systems. **Science of the Total Environment**, 688, 797–810. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.256>

FAJARDO-HERRERA, R. J., VALDELAMAR-VILLEGAS, J. C., & MOUTHON BELLO, J. (2019). A Rain Garden for Nitrogen Removal from Storm Runoff in Tropical Cities. **Revista de Ciencias Ambientales**, 53(2), 132–146. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/ambientales/article/view/12097>

FLYNN, K. M., & TRAVER, R. G. (2013). Green infrastructure life cycle assessment: A bio-infiltration case study. **Ecological Engineering**, 55, 9–22. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.01.004>

FOWDAR, H., PAYNE, E., DELETIC, A., ZHANG, K., & MCCARTHY, D. (2022). Advancing the Sponge City Agenda: Evaluation of 22 plant species across a broad range of life forms for stormwater management. **Ecological Engineering**, 175(December 2021), 11. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106501>

GAO, J., LI, J., LI, Y., XIA, J., & LV, P. (2021). A Distribution Optimization Method of Typical LID Facilities for Sponge City Construction. **Ecohydrology and Hydrobiology**, 21(1), 13–22. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2020.09.003>

GÉHÉNIAU, N., FUAMBA, M., I, MAHAUT, V., GENDRON, M. R., & DUGUÉ, M. (2015). Monitoring of a Rain Garden in Cold Climate: Case Study of a Parking

- Lot near Montréal. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, 141(6), 04014073. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ir.1943-4774.0000836](https://doi.org/10.1061/(asce)ir.1943-4774.0000836)
- GU, C., COCKERILL, K., ANDERSON, W. P., SHEPHERD, F., GROOTHUIS, P. A., MOHR, T. M., WHITEHEAD, J. C., RUSSO, A. A., & ZHANG, C. (2019). Modelling effects of low impact development on road salt transport at watershed scale. **Journal of Hydrology**, 574(April), 1164–1175. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.04.079>
- GUASSELLI, F. & CASARIN, V. (2022). Preferências paisagísticas no entorno de rios urbanos: uma revisão. **Mix Sustentável**, Florianópolis, 8 (4) 141-147. <http://dx.doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2022.v8.n4.%p>
- GUO, C., LI, J., LI, H., & LI, Y. (2019). Influences of stormwater concentration infiltration on soil nitrogen, phosphorus, TOC and their relations with enzyme activity in rain garden. **Chemosphere**, 233, 207–215. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.05.236>
- GUO, C., LI, J., LI, H., ZHANG, B., MA, M., & LI, F. (2018). Seven-year running effect evaluation and fate analysis of rain gardens in Xi'an, Northwest China. **Water (Switzerland)**, 10(7). <https://doi.org/10.3390/w10070944>
- GUO, J. C. Y., & LUU, T. M. (2015). Operation of Cap Orifice in a Rain Garden. **Journal of Hydrologic Engineering**, 20(10), 06015002. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)he.1943-5584.0001184](https://doi.org/10.1061/(asce)he.1943-5584.0001184)
- HAN, R., LI, J., LI, Y., XIA, J., & GAO, X. (2021). Comprehensive benefits of different application scales of sponge facilities in urban built areas of northwest China. **Ecohydrology and Hydrobiology**, 21(3), 516–528. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2021.08.008>
- HEIDARI, B., SCHMIDT, A. R., & MINSKER, B. (2022). Cost/benefit assessment of green infrastructure: Spatial scale effects on uncertainty and sensitivity. **Journal of Environmental Management**, 302(PA), 114009. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114009>
- HONG, J., GERONIMO, F. K., CHOI, H., & KIM, L. H. (2018). Impacts of nonpoint source pollutants on microbial community in rain gardens. **Chemosphere**, 209, 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.06.062>
- HOOVER, F. A., PRICE, J. I., & HOPTON, M. E. (2020). Examining the effects of green infrastructure on residential sales prices in Omaha, Nebraska. **Urban Forestry and Urban Greening**, 54(October 2019), 126778. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126778>
- HUA, P., YANG, W., QI, X., JIANG, S., XIE, J., GU, X., LI, H., ZHANG, J., & KREBS, P. (2020). Evaluating the effect of urban flooding reduction strategies in response to design rainfall and low impact development. **Journal of Cleaner Production**, 242, 118515. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118515>
- JIA, Z., TANG, S., LUO, W., LI, S., & ZHOU, M. (2016). Small scale green infrastructure design to meet different urban hydrological criteria. **Journal of Environmental Management**, 171, 92–100. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.01.016>
- JOHNSTON, M. R., BALSTER, N. J., & THOMPSON, A. M. (2020). Vegetation alters soil water drainage and retention of replicate rain gardens. **Water (Switzerland)**, 12(11), 1–23. <https://doi.org/10.3390/w12113151>
- KARCZMARCZYK, A., & KAMINSKA, M. (2020). Phosphorus leaching from substrates commonly used in rain gardens. **E3S Web of Conferences**, 171, 1–5. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017101003>
- KAYKHOSRAVI, S., KHAN, U. T., & JADIDI, M. A. (2022). A simplified geospatial model to rank LID solutions for urban runoff management. **Science of the Total Environment**, 831(March), 14. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154937>
- KHAN, U. T., VALEO, C., CHU, A., & VAN DUIN, B. (2012a). Bioretention cell efficacy in cold climates: Part 1 - hydrologic performance. **Canadian Journal of Civil Engineering**, 39(11), 1210–1221. <https://doi.org/10.1139/l2012-110>
- KHAN, U. T., VALEO, C., CHU, A., & VAN DUIN, B. (2012b). Bioretention cell efficacy in cold climates: Part 2 - water quality performance. **Canadian Journal of Civil Engineering**, 39(11), 1222–1233. <https://doi.org/10.1139/l2012-111>
- LAW, E. P., DIEMONT, S. A. W., & TOLAND, T. R. (2017). A sustainability comparison of green infrastructure interventions using emergy evaluation. **Journal of**

Cleaner Production, 145, 374–385. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.039>

LI, F., CHEN, J., ENGEL, B. A., LIU, Y., WANG, S., & SUN, H. (2021). Assessing the effectiveness and cost efficiency of green infrastructure practices on surface runoff reduction at an urban watershed in China. **Water (Switzerland)**, 13(1). <https://doi.org/10.3390/w13010024>

LIM, H. S., & LU, X. X. (2016). Sustainable urban stormwater management in the tropics: An evaluation of Singapore's ABC Waters Program. **Journal of Hydrology**, 538, 842–862. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.04.063>

LIU, K., LI, J., XIA, J., GAO, X., GAO, J., & JIANG, C. (2022). Study on LID Facilities Comprehensive Effect Evaluation: A case in Campus. **Ecohydrology & Hydrobiology**, Volume 22, Issue 3, July 2022, Pages 530-540. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2022.04.001>

MA, Y., NALL, J., & O'BANNON, D. (2018). Assessment of Orifice-Controlled Flow Monitoring Device for Rain Garden Performance. **Journal of Sustainable Water in the Built Environment**, 4(2), 05018002. <https://doi.org/10.1061/jswbay.0000855>

Management Environmental Services Sustainable - MESS. (2005). **NE Siskiyou Green Street Project**. <https://www.portlandoregon.gov/bes/article/78299>

MANQUIZ-REDILLAS, M. C., & KIM, L. H. (2016). Evaluation of the capability of low-impact development practices for the removal of heavy metal from urban stormwater runoff. **Environmental Technology (United Kingdom)**, 37(18), 2265–2272. <https://doi.org/10.1080/09593330.2016.1147610>

MEHRING, A. S., HATT, B. E., KRAIKITTIKUN, D., ORELO, B. D., RIPPY, M. A., GRANT, S. B., GONZALEZ, J. P., JIANG, S. C., AMBROSE, R. F., & LEVIN, L. A. (2016). Soil invertebrates in Australian rain gardens and their potential roles in storage and processing of nitrogen. **Ecological Engineering**, 97, 138–143. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.09.005>

MELO, TA, COUTINHO, A, CABRAL, J. J., ANTÔNIO C. D. ANTONINO, & CIRILO, J. A. (2014). Jardim de chuva: sistema de biorretenção para o manejo das águas pluviais

urbanas. **Ambiente Construído**, 14(4), 147–165.

MENG, T., & HSU, D. (2019). Stated preferences for smart green infrastructure in stormwater management. **Landscape and Urban Planning**, 187(March), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.03.002>

MORASH, J., WRIGHT, A., LEBLEU, C., MEDER, A., KESSLER, R., BRANTLEY, E., & HOWE, J. (2019). Increasing sustainability of residential areas using rain gardens to improve pollutant capture, biodiversity and ecosystem resilience. **Sustainability (Switzerland)**, 11(12). <https://doi.org/10.3390/SU11123269>

NICHOLS, W., WELKER, A., TRAVER, R., & TU, M. "PETER". (2021). Modelling Seasonal Performance of Operational Urban Rain Garden Using HYDRUS-1D. **Journal of Sustainable Water in the Built Environment**, 7(3), 04021005. <https://doi.org/10.1061/jswbay.0000941>

OBWB. (2021). Slow it. Spread it. Sink it! (Second Edi). Okanagan Basin Water Board. www.okwaterwise.ca

PAULIN, M., REMME, R. P., & DENIJS, T. (2019). Amsterdam's Green Infrastructure: Valuing Nature's Contributions to People. **RIVM Letter report 2019-0021**, 79.

PENNINO, M. J., MCDONALD, R. I., & JAFFE, P. R. (2016). Watershed-scale impacts of stormwater green infrastructure on hydrology, nutrient fluxes, and combined sewer overflows in the mid-Atlantic region. **Science of the Total Environment**, 565, 1044–1053. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.101>

PERALES-MOMPARLER, S., ANDRÉS-DOMÉNECH, I., HERNÁNDEZ-CRESPO, C., VALLÉS-MORÁN, F., MARTÍN, M., ESCUDER-BUENO, I., & ANDREU, J. (2017). The role of monitoring sustainable drainage systems for promoting transition towards regenerative urban built environments: a case study in the Valencian region, Spain. **Journal of Cleaner Production**, 163, 113–124. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.153>

QIN, Y. (2020). Urban flooding mitigation techniques: A systematic review and future studies. **Water (Switzerland)**, 12(12). <https://doi.org/10.3390/w12123579>

RAINEY, W., MCHALE, M., & ARABI, M. (2022). Characterization of co-benefits of green stormwater infrastructure across ecohydrologic regions in the United

States. **Urban Forestry & Urban Greening**, 70(February), 127514. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127514>

REIS, R., & ILHA, M. (2014). Comparação de desempenho hidrológico de sistemas de infiltração de água de chuva: poço de infiltração e jardim de chuva. **Ambiente Construído**, 14(2), 79–90.

ROSENBERGER, L., LEANDRO, J., PAULEIT, S., & ERLWEIN, S. (2021). Sustainable stormwater management under the impact of climate change and urban densification. **Journal of Hydrology**, 596, 11. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2021.126137>

ROY, A. H., RHEA, L. K., MAYER, A. L., SHUSTER, W. D., BEAULIEU, J. J., HOPTON, M. E., MORRISON, M. A., & ST AMAND, A. (2014). How much is enough? Minimal responses of water quality and stream biota to partial retrofit stormwater management in a suburban neighborhood. **PLoS ONE**, 9(1), 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0085011>

SHAFIQUE, M., KIM, R., & RAFIQ, M. (2018). Green roof benefits, opportunities and challenges – A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 90(March), 757–773. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.006>

SHIN, D. W., & MCCANN, L. (2018). Enhancing Adoption Studies: The Case of Residential Stormwater Management Practices in the Midwest. **Agricultural and Resource Economics Review**, 47(1), 32–65. <https://doi.org/10.1017/age.2017.3>

SILVA, G. N., ALVES, L. D., SANTOS, I. E. DOS; BILA, D. M., JÚNIOR, A. A. O., & CORRÊA, S. M. (2020). An assessment of atmospheric deposition of metals and the physico-chemical parameters of a rainwater harvesting system in Rio de Janeiro Brazil, by means of statistical multivariate analysis. **Revista Ambiente e Água**, 15(4). <https://doi.org/10.4136>

SIWIEC, E., ERLANDSEN, A. M., & VENNEMO, H. (2018). City Greening by Rain Gardens - Costs and Benefits. **Ochrona Srodowiska i Zasobow Naturalnych**, 29(1), 1–5. <https://doi.org/10.2478/oszn-2018-0001>

SNYDER, H. (2019). Literature review as a research methodology: an overview and guidelines. **Journal of Business Research**, 104, 333-339.

SØBERG, L. C., VIKLANDER, M., & BLECKEN, G. T. (2017). Do salt and low temperature impair metal treatment in stormwater bioretention cells with or without a submerged zone? **Science of the Total Environment**, 579, 1588–1599. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.179>

SONG, C. (2022). Application of nature-based measures in China's sponge city initiative: Current trends and perspectives. **Nature-Based Solutions**, 2(December 2021), 100010. <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2022.100010>

STOBBELAAR, D. J., VAN DER KNAAP, W., & SPIJKER, J. (2022). Transformation towards Green Cities: Key Conditions to Accelerate Change. **Sustainability (Switzerland)**, 14(11), 1–16. <https://doi.org/10.3390/su14116410>

TARGA, M. DOS S., BATISTA, G. T., DINIZ, H. N., DIAS, N. W., & MATOS, F. C. DE. (2012). Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, 7(2), 120–142. <https://doi.org/10.4136/1980-993X>

TIRPAK, R. A., AFROOZ, A. N., WINSTON, R. J., VALENCA, R., SCHIFF, K., & MOHANTY, S. K. (2021). Conventional and amended bioretention soil media for targeted pollutant treatment: A critical review to guide the state of the practice. **Water Research**, 189, 17. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116648>

TRANFIELD, D., DENYER, D., SMART, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. **British Journal of Management**, 14(3), 207-222. <https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375>.

UACDC. (2010). LID - Low Impact Development: a design manual for urban areas. In University of Arkansas Press (Vol. 1). **University of Arkansas Press**. <https://doi.org/10.4324/9780429281235-2>

URETA, J., MOTALLEBI, M., SCARONI, A. E., LOVELACE, S., & URETA, J. C. (2021). Understanding the public's behaviour in adopting green stormwater infrastructure. **Sustainable Cities and Society**, 69(March), 102815. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102815>

VALINSKI, N. A., & CHANDLER, D. G. (2015). Infiltration performance of engineered surfaces commonly used for distributed stormwater management. **Journal of Environmental Management**, 160, 297–305. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.06.032>

WANG, H., SUN, Y., ZHANG, L., WANG, W., & GUAN, Y. (2021). Enhanced nitrogen removal and mitigation of nitrous oxide emission potential in a lab-scale rain garden with internal water storage. **Journal of Water Process Engineering**, 42, 9. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102147>

WANG, J., CHUA, L. H. C., & SHANAHAN, P. (2019). Hydrological modelling and field validation of a bioretention basin. **Journal of Environmental Management**, 240(November 2018), 149–159. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.090>

WANG, R., ZHANG, X., & LI, M. H. (2019). Predicting bioretention pollutant removal efficiency with design features: A data-driven approach. **Journal of Environmental Management**, 242(April), 403–414. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.064>

WILFONG, M. T., CASEY, R. E., & OWNBY, D. R. (2021). Performance of commercially available soil amendments for enhanced Cu attenuation in bioretention media. **Journal of Environmental Management**, 295, 9. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113047>

WILKERSON, B., ROMANENKO, E., & BARTON, D. N. (2022). Modelling reverse auction-based subsidies and stormwater fee policies for Low Impact Development (LID) adoption: a system dynamics analysis. **Sustainable Cities and Society**, 79(December 2021), 18. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103602>

XU, C., TANG, T., JIA, H., XU, M., XU, T., LIU, Z., LONG, Y., & ZHANG, R. (2019). Benefits of coupled green and grey infrastructure systems: Evidence based on analytic hierarchy process and life cycle costing. **Resources, Conservation and Recycling**, 151(April), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104478>

YUAN, J., & DUNNETT, N. (2018). Plant selection for rain gardens: Response to simulated cyclical flooding of 15 perennial species. **Urban Forestry and**

Urban Greening, 35(January), 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.08.005>

YUE, C., LI, L. Y., & JOHNSTON, C. (2018). Exploratory study on modification of sludge-based activated carbon for nutrient removal from stormwater runoff. **Journal of Environmental Management**, 226(July), 37–45. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.07.089>

ZHANG, K., DELETIC, A., PAGE, D., & MCCARTHY, D. T. (2015). Surrogates for herbicide removal in stormwater biofilters. **Water Research**, 81, 64–71. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.05.043>

ZHANG, Z., LI, J., JIANG, C., LI, Y., & ZHANG, J. (2022). Impact of nutrient removal on microbial community in bioretention facilities with different underlying types/built times at field scale. **Ecological Engineering**, 176(June 2021), 106542. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106542>

AUTORES

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5688-9142>

FABIO RIBEIRO GONDIM, Msc. | Doutorado em Engenharia Ambiental (DEAMB) | Rio de Janeiro-RJ | Rua São Francisco Xavier 524, 5008-E. Maracanã - Rio de Janeiro - CEP 20550-900 | gondimfr@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0772-9334>

ALFREDO AKIRA OHNUMA JR, Dr. | Universidade do Estado do Rio de Janeiro - Engenharia Ambiental - Rio de Janeiro - RJ - Rua São Francisco Xavier 524, 5008-E. Maracanã - Rio de Janeiro - CEP 20550-900 | akira@eng.uerj.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7322-9223>

MARCELO OBRACZKA, Dr. | Universidade do Estado do Rio de Janeiro - Curso: Engenharia Sanitária e Ambiental - Rio de Janeiro-RJ | Rua São Francisco Xavier 524, 5029F. Maracanã - Rio de Janeiro - CEP 20550-900

COMO CITAR ESTE ARTIGO

GONDIM, Fábio; OHNUMA JR., Alfredo Akira; OBRACZKA, Marcelo. *MIX Sustentável*, v. 9, n. 5, p. 201-215, 2023. ISSN 2447-3073. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: [_/_/_.doi: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n5.201-215>](https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n5.201-215).

SUBMETIDO EM: 20/06/2023

ACEITO EM: 22/09/2023

PUBLICADO EM: 31/10/2023

EDITORES RESPONSÁVEIS: Lisiane Ilha Librelotto e Paulo Cesar Machado Ferroli

Registro da contribuição de autoria:

Taxonomia CRediT (<http://credit.niso.org/>)

FRG: conceituação, curadoria de dados, análise formal, investigação, metodologia, administração de projetos, programas, validação, visualização, escrita - rascunho original.

AAO: conceituação, supervisão, visualização, escrita - rascunho original, escrita - revisão & edição.

MO: conceituação, metodologia, supervisão, visualização, escrita - rascunho original, escrita - revisão & edição.

Declaração de conflito: nada foi declarado.