

EDITORES

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

CONSELHO EDITORIAL

Aguinaldo dos Santos, UFPR
Amilton José Vieira de Arruda, UFPE
Andrea Jaramillo Benavides, UTE (Equador)
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

Andrea Jaramillo Benavides Santos – UTE - UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIA, Equador
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

AVALIADORES

Adriane Shibata Santos, UNIVILLE - UNIVERSIDADE DA REGIÃO DE JOINVILLE, Brasil
Adriano Heemann, UFPR - UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, Brasil
Aguinaldo dos Santos, UFPR - UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, Brasil
Albertina Pereira Medeiros, UDESC - UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA, Brasil
Alexandre Márcio Toledo, FAU/UFAL - UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS, Brasil
Aline Eying Savi, UNESC - UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE, Brasil
Almir Barros da S. Santos Neto, UFSM - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA, Brasil
Amanda Salvia, UFP - UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO, Brasil
Amilton José Vieira de Arruda, UFPE - UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO, Brasil
Ana Carolina Kalume Maranhão, UnB - UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, Brasil
Ana Claudia Maynardes, UnB - UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, Brasil
Ana Kelly Marinowski Ribeiro, UFSC - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, Brasil
Ana Lúcia Papst de Abreu, IFSC - INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA, Brasil
Ana Paula Kieling, UNIVALI - UNIVERSIDADE DO VALE DO ITAJAÍ
Ana Veronica Pazmino, UFSC - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, Brasil
Anderson Saccol Ferreira, UNOESC - UNIVERSIDADE DO OESTE 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
Anja Pratschke, USP - IAU - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, Brasil
Anna Cristina Andrade Ferreira, UFERSA - UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO, Brasil
Arnoldo Debatin Neto, UFSC - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, Brasil
Ayrton Portinho Bueno, UFSC - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, Brasil
Beany Monteiro Guimarães, UFRJ - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, Brasil
Camila Correia Teles, UnB - UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, 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-Rio - PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO, Brasil
Cecília Prompt, Margem Arquitetura, Brasil
Celia Neves, TERRA BRASIL, Brasil
Celso Salamon, UTFPR - UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, Brasil
Cesar Fabiano Fioriti, UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, Brasil
Chrystianne Goulart Ivanoski, UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC, Brasil
Cláudia Queiroz Vasconcelos, UNIFESSPA - UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ
Cláudio Pereira de Sampaio, UEL - UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA, Brasil
Coral Michelin, UPF - UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO, Brasil
Cristiane Mesquita, Universidade Anhembi Morumbi, Brasil
Cristiano Alves, UFSC - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, Brasil
Cristina Colombo Nunes, UFSC - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Cristina Souza Rocha, UNIVERSIDADE DE LISBOA, Portugal
Cristine do Nascimento Mutti, UFSC - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, Brasil

Aguinaldo dos Santos – UFPR – UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, Brasil

Helena Maria Coelho da Rocha Terreiro Galha Bártolo – IPLeia – INSTITUTO POLITÉCNICO DE LEIRIA, Portugal

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)

Ramon Hamann (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

AVALIADORES QUE PARTICIPARAM DESTA EDIÇÃO

1. Almir Barros da S. Santos Neto (UFSM)
2. Almir Barros da S. Santos Neto, UFSM
3. Ana Claudia Maynardes, UnB
4. Ana Júlia Dal Forno, UFSC

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

Deivis Luis Marinovski, UFSC - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, Brasil

Denise Dantas, FAU - USP - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, Brasil

Douglas Luiz Menegazzi, UFSC - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, Brasil

Eduardo Rizzatti, UFSM - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA, Brasil

Elenir Carmen Morgenstern, UNIVILLE - UNIVERSIDADE DA REGIÃO DE JOINVILLE, Brasil

Eliana Paula Calegari, UFRGS - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Brasil

Eliane Pinheiro, UEM - UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ, Brasil

Elvis Carissimi, UFSM - 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

Fábio Gonçalves Teixeira, UFRGS - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Brasil

Fernanda Hansch Beuren, UDESC - UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA, Brasil

Fernando Barth, UFSC - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, Brasil

Fabricio Farias Tarouco, UNISINOS - UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS, Brasil

Francisco Assis Silva Mota, UFPI - UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ, Brasil

Gabriel Cremona Parma, UNISUL - UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA, Brasil

Germannya D'Garcia de Araújo Silva, UFPE - UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO, Brasil

Giovani Maria Arrigone, FACULDADE SENAI - SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, Brasil

Giselle Blasius Follmann, CENTRO UNIVERSITÁRIO CATÓLICA, Brasil

Guilherme Philippe Garcia Ferreira, UFPR - UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Graciete Guerra da Costa, UFRR - UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA, Brasil

Helena Maria Coelho da Rocha Terreiro Galha Bártolo, IPLeia - INSTITUTO POLITÉCNICO DE LEIRIA, Portugal

Inara Pagnussat Camara, UNOESC - UNIVERSIDADE DO OESTE DE SANTA CATARINA, Brasil

Ingrid Scherdien, FEEVALE - UNIVERSIDADE FEEVALE, Brasil

Isadora Burmeister Dickie, UNIVILLE - UNIVERSIDADE REGIONAL DE JOINVILLE, Brasil

Isabela Battistello Espíndola, USP - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, Brasil

Janaina Mazutti, UFP - UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO, Brasil

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 SENAC FLORIANÓPOLIS, Brasil

João Candido Fernandes, UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, Brasil

Jairo da Costa Junior, UNIVERSITY OF WESTERN, Australia

Jocelise Jacques de 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 Guilherme Santa Rosa, UFRN - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

José Manuel Couceiro Barosa Correia Frade, IPLeia - ESCOLA SUPERIOR DE ARTES E DESIGN - POLITÉCNICO DE LEIRIA, Portugal

Jorge André Ribas Moraes, UNISC - UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL, Brasil

Josiane Wanderlinde Vieira, UFSC - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, Brasil

Júlio Cezar Augusto da Silva, INT - INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA, Brasil

5. Ana Kelly Marinoski Ribeiro, UFSC
6. André Canal Marques, UNISINOS
7. Andrea Franco Pereira, UFMG
8. Andrea Jaramillo Benavides, IKIAM
9. Celso Salamon, UTFPR
10. Danilo Corrêa Silva, UNIVILLE
11. Fabiano Ostapiv, UTFPR
12. Gabriel Cremona Parma, UNISUL
13. Joel Dias da Silva, FURB
14. Júlio Cezar Augusto da Silva, INT
15. Miguel Barreto Santos, IPEleiria
16. Natalia Hauenstein Eckert, UNICRUZ
17. Patricia Freitas Nerbas, UNISINOS
18. Rita de Cássia Gnutzmann Veiga, FURG
19. Roberio do Nascimento Coêlho, UFBA
20. Sérgio Manuel Oliveira Tavares, UP (Portugal)
21. Silvia Kimo Costa, UFSB
22. Sofia Lima Bessa, UFMG
23. Tomás Queiroz Ferreira Barata, FAUUSP
24. Yago Soares Chaves, IME

Karine Freire, UNISINOS - UNIVERSIDADE DO VALE DOS SINOS, Brasil

Laia Haurie Ibarra – UPC – Universitat Politècnica de Catalunya, Espanha

Leonardo Corrêa Malburg, UNIVERSITY OF TWENTE, Netherlands, Países Baixos

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

Luana Toralles Carbonari, UEM - UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ, Brasil

Luana Miranda Esper Kallas, UFG - UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOÍAS, Brasil

Lucila Naiza Soares Novaes, UFCE - UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ, Brasil

Luis Oliveira, WMG - UNIVERSITY OF WARWICK, Reino Unido

Luis Reyes Rosales Montero, UFCG - UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE, Brasil

Luiz Vidal Gomes, UNERJ - UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO DE JANEIRO, Brasil

Luciana de Figueiredo Lopes Lucena, UFRN - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE, Brasil

Marcelo de Mattos Bezerra, PUC-Rio - PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO, Brasil

Marcelo Gitirana Gomes-Ferreira, UDESC - UNIVERSIDADE ESTADUAL 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

Marco Aurélio Petrelli, UNIVALI - UNIVERSIDADE DO VALE DO ITAJAÍ, Brasil

Maria Fernanda Oliveira, UNISINOS - UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS

Maria Luísa Telarolli de Almeida Leite, USP - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, Brasil

Maria Raquel Kaniecki, UDESC - UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA, 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

Marta Karina Leite, UTFPR - UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, Brasil

Manuela Marques Lalane Nappi, UFSC - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, Brasil

Marco Aurélio Soares de Castro, UNICAMP - UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, Brasil

Maycon Del Piero da Silva, UNEOURO - FACULDADE DE OURO PRETO DO OESTE, Brasil

Michele Tereza Carvalho, UnB - UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, Brasil

Miguel Aloysio Sattler, UFRGS - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Brasil

Miguel Barreto Santos, IPEleiria - INSTITUTO POLITÉCNICO DE LEIRIA, Portugal

Mônica Maranhã 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

Ney Dantas, UFPE - UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO, Brasil

Niander Aguiar Cerqueira, UENF - UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE, 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

Patrícia Marins Farias, UFBA - UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA, Brasil

Paola Egert Ortiz, UNISUL - UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA, Brasil

Paula Schlemper de Oliveira, UnB - UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, 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

Pedro Arturo Martínez Osorio, UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, Brasil

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

Rafael Burlani Neves, UNIVALI - UNIVERSIDADE DO VALE DO ITAJAÍ, Brasil

Regiane Trevisan Pupo, UFSC - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, Brasil

Renata Priore Lima, UNIP - UNIVERSIDADE PAULISTA, Brasil

Rita de Castro Engler, UEMG - UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MINAS GERAIS, Brasil

Roberto Bologna, UniFI - UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE, Itália

Rodrigo Antunes, UF - UNIVERSITY OF FLORIDA, Estados Unidos

Rodrigo Catafesta Francisco, FURB - UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU, Brasil

Rogério Antochaves, UFSM - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA, Brasil

Rogério José Camara, UnB - UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, Brasil

Ronaldo Glufke, UFSM - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA, 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

Sharmistha Banerjee, IIT - INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY, Índia

Silvio Bitencourt da Silva, UNISINOS - UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS, Brasil

Silvio Burattino Melhado, USP - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, Brasil

Silvio Cezar Carvalho Prizibela, UFSC - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, Brasil

Simone Barros, UFPE - UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

Sofia Lima Bessa, UFMG - UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, Brasil

Sonia Afonso, UFSC - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, Brasil

Sonia Regina Amorim Soares de Alcantara, UFC - UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ, Brasil

Sydney Fernandes de Freitas, UFRJ - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, Brasil

Tarcisio Dorn de Oliveira, UNJUÍ - UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL, Brasil

Tomás Queiroz Ferreira Barata, FAUUSP - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, Brasil

Trícia Caroline da Silva Santana, UFRSA - UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO, Brasil

Uda Souza Fialho, UFRGS - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Brasil

Valéria Feijó, UNOCHAPECÓ - UNIVERSIDADE COMUNITÁRIA DA REGIÃO DE CHAPECÓ, Brasil

Vanessa Casarin, UFSC - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, Brasil

Vicente de Paulo Santos Cerqueira, UFRJ - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, Brasil

Vinicius Luis Arcangelo Silva, UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, Brasil

Virginia Pereira Cavalcanti, UFPE - UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO, Brasil

Viviane dos Guimarães Alvim Nunes, UFU - UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, Brasil

Walter Franklin M. Correia, UFPE - UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO, Brasil

Wellington Gomes de Medeiros, UFCG - UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE, Brasil

Wilson Jesus da Cunha Silveira, UNISUL - UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA

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; Andrea Jaramillo Benavides, IKIAM - Universidad Regional Amazónica, Equador; 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** **AVALIAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL CAUSADO POR CONCRETO ARMADO UTILIZADO EM PONTES** | ENVIRONMENTAL IMPACT EVALUATION CAUSED BY REINFORCED CONCRETE USED IN BRIDGES | EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL PROVOCADO POR EL HORMIGÓN ARMADO UTILIZADO EN PUENTES | Gláucia Nolasco de Almeida Mello, Lucas Lopes de Carvalho Pena e Leonardo Mindêllo Muschioni
- 33** **DISCLOSURE DOS CUSTOS AMBIENTAIS: ANÁLISE DAS EMPRESAS DE ENERGIA ELÉTRICA LISTADAS NO ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE EMPRESARIAL (ISE)** | DISCLOSURE OF ENVIRONMENTAL COSTS: ANALYSIS OF ELECTRIC ENERGY COMPANIES LISTED IN THE CORPORATE SUSTAINABILITY INDEX (ISE) | DIVULGACIÓN DE COSTOS AMBIENTALES: ANÁLISIS DE EMPRESAS ELÉCTRICAS LISTADAS EN EL ÍNDICE DE SOSTENIBILIDAD EMPRESARIAL (ISE) | Francieli Binotti, Daiane Aline Tomaz Sobczuk, Andrea Paez e Geysler Rogis Flor Bertolini
- 50** **MECHANICAL BEHAVIOR OF HIGH-DENSITY POLYETHYLENE REINFORCED WITH GRAPHENE NANOPATELETS AND JUTE FABRIC** | COMPORTAMENTO MECÂNICO DO POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE REFORÇADO COM NANOPLATAS DE GRAFENO E TECIDO DE JUTE | COMPORTAMENTO MECÂNICO DO POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE REFORÇADO COM NANOPLATAS DE GRAFENO E TECIDO DE JUTE | Ulisses Oliveira Costa, Wendell Bruno Almeida Bezerra, Noemi Raquel Checca Huaman, Sergio Neves Monteiro, Wagner Anacleto Pinheiro e Lucio Fabio Cassiano Nascimento
- 67** **ACV DE MATERIAIS CIMENTÍCIOS SUPLEMENTARES E AGREGADOS RECICLADOS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA** | LCA OF SUPPLEMENTARY CEMENTITIOUS MATERIALS AND RECYCLED AGREGGATES: A SYSTEMATIC REVIEW | ACV DE MATERIALES CEMENTANTES SUPLEMENTARIOS Y ÁRIDOS RECICLADOS: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA | Lidianne do Nascimento Farias, Joaquin Humberto Aquino Rocha, Lucas Rosse Caldas e Romildo Dias Toledo Filho
- 83** **AVALIAÇÃO DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS SIDERÚRGICOS EM BLOCOS DE SOLO-CIMENTO** | EVALUATION OF THE INCORPORATION OF STEEL WASTE IN SOIL-CEMENT BLOCKS | EVALUACIÓN DE LA INCORPORACIÓN DE RESIDUOS SIDERÚRGICOS EN BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA | Victor França Campolina, Mateus Gomes Bretas, Frank Alison de Carvalho, Ricardo de Oliveira Brasil Costa e Bernat Vinolas Prat
- 101** **O USO DE ATIVOS DE PROPRIEDADE INDUSTRIAL NA CADEIA DE VALOR DA CACHAÇA** | THE USE OF INDUSTRIAL PROPERTY ASSETS IN THE CACHAÇA VALUE CHAIN | EL USO DE ACTIVOS DE PROPIEDAD INDUSTRIAL EN LA CADENA DE VALOR DE LA CACHAÇA | Leonardo Falangola Martins e Sandra Brites
- 117** **ASPECTOS AMBIENTAIS DO INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DA TAIPA DE PILÃO** | ENVIRONMENTAL ASPECTS OF RAMMED EARTH'S LIFE CYCLE INVENTORY | ASPECTOS AMBIENTALES DEL INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA DE LA TAPIA | Ana Paula da Silva Milani e Isabela Maria Carvalho Iunes
- 131** **A RELEVÂNCIA DA ESTRATÉGIA VENTILAÇÃO NATURAL PARA PAULO AFONSO/BA/BR** | THE RELEVANCE OF NATURAL VENTILATION STRATEGY FOR PAULO AFONSO/BA/BR | LA RELEVANCIA DE LA ESTRATEGIA DE VENTILACIÓN NATURAL PARA PAULO AFONSO/BA/BR | Alexandre Márcio Toledo e Erikis Yure Silva Leonel

- 147** **SUSTAINABILITY LEVELS ANALYSIS: A STUDY CASE OF GRAIN TRANSPORTATION USING ROADTRAILERS** | ANÁLISE DOS NÍVEIS DE SUSTENTABILIDADE: UM ESTUDO DE CASO DO TRANSPORTE DE GRÃOS UTILIZANDO RODOTRILHOS | ANÁLISIS DE NIVELES DE SOSTENABILIDAD: UM ESTUDIO DE CASO DE TRANSPORTE DE GRANOS UTILIZANDO CARRETERA-CARRIL | **Guilherme Peres dos Santos e Ricardo Villarroel Dávalos**
- 159** **COBERTURAS VERDES: CONCEITO, APLICAÇÃO E DESEMPENHO** | GREEN ROOFS: CONCEPT, APPLICATION AND PERFORMANCE | CUBIERTAS VERDES: CONCEPTO, APLICACIÓN Y DESEMPEÑO | **Fernando Sérgio Okimoto e Leonardo Ferreira De Mello**
- 171** **UMA VISÃO GERAL SOBRE OS GREEN BONDS NO CENÁRIO PANDÊMICO DE 2020** | AN OVERVIEW OF GREEN BONDS IN THE 2020 PANDEMIC SCENARIO | UNA VISIÓN GENERAL DE LOS GREEN BONDS EN EL ESCENARIO PANDÉMICO DE 2020 | **Thais Guedes Máximo Monteiro, Victor Hugo Souza de Abreu e Andrea Souza Santos**
- 181** **SUSTAINABILITY TRANSPARENCY: SCOPE FOR DIGITAL SERVICES** | TRANSPARÊNCIA PARA SUSTENTABILIDADE: ESCOPO EM SERVIÇOS DIGITAIS | TRANSPARENCIA EN SOSTENIBILIDAD: ALCANCE EN SERVICIOS DIGITALES | **Marcella Lomba Nicastro e Aguinaldo dos Santos**

GRADUAÇÃO, INICIAÇÃO CIENTÍFICA E PÓS-GRADUAÇÃO

- 201** **DE UMA FENOMENOLOGIA DO DESIGN: UMA INVESTIGAÇÃO SOBRE O FUNDAMENTO DAS RELAÇÕES DE USO FACE AO PROPÓSITO DE MANUTENÇÃO DA VIDA** | Marli Teresinha Everling e Roberto Kahlmeyer Mertens
- 203** **DESIGN ECOSSISTÊMICO: PRINCÍPIOS TEÓRICOS E EXPERIMENTOS DE UMA ABORDAGEM REGENERATIVA PARA O DESIGN** | Coral Michelin e Priscila A. C. Arantes
- 207** **TÉCNICAS DA JOALHERIA SUSTENTÁVEL PARA GRUPO SOCIAL VULNERÁVEL** | Ana Beatriz Avelino Barbosa e Cristina do Carmo Lucio Berrehil El Kattel
- 207** **IDEIAS POSTAS EM PRÁTICAS: O LUGAR DA CRIATIVIDADE E DA EXPERIMENTAÇÃO NO DESIGN CONTEMPORÂNEO** | Arthur Henrique dos Santos e Beany Guimarães Monteiro

EDITORIAL

MIX SUSTENTÁVEL VOL. 9 N. 3 — EDIÇÃO REGULAR

Tempo. Essa palavra de apenas 5 letras agrega em torno de si o próprio sentido da vida. O ser humano (dizem) é o único animal que tem consciência de sua finitude (no sentido carnal da palavra, não entrando na esfera espírita). Mesmo assim, continuamos a lutar contra o tempo, como se isso fosse possível.

Moldamos nossa vida à partir do relógio... estudamos, lemos, nos alimentamos, nos divertimos... tudo regulado pela divisão de horas, minutos e segundos. E a cada nova “invenção” humana que em tese nos permitiria maior tempo “livre”, agregamos novas tarefas, funções, burocracias, e por aí vai, de modo que são raras (se é que existem) as pessoas que ao deitar à noite não lembrem de algo que não conseguiram fazer por “falta de tempo”, e que então, poderão ser realizadas no dia seguinte. E na verdade no dia seguinte isso se repetirá, continuamente.

Já dizia George Orwell: “Who controls the past, controls the future: who controls the present, controls the past. . .” Com base nisso podemos dizer que fazemos hoje aquilo que precisamos no futuro, mas que será nosso passado amanhã.

Pensamos nisso agora porque nosso bolsista enviou a mensagem: - “vamos terminar a edição hoje? Falta apenas o editorial... mandem logo por favor”. Fazer um editorial é simples, ou deveria ser. Quanto tempo levamos para escrever duas páginas? Talvez, nesse momento, seja isso que nosso bolsista está pensando: por que tanta demora em enviar um simples editorial? É mais ou menos como o mestrando que diz as pessoas, ao ser questionado sobre quando terminará seus estudos: - falta somente a dissertação! Uma dissertação tem pouco mais de 100 páginas (algumas menos). Então se você se dedicar, consegue tranquilamente escrever 4 páginas por hora – em tempo de digitação, é claro - o que significa que trabalhando 8 horas por dia (para manter nosso padrão regulatório da sociedade), na metade do quarto dia a dissertação deveria estar pronta. Nossa!!! Matematicamente, isso parece muito simples. Mas nunca será possível concluir uma dissertação em 4 dias, a não ser, que talvez seja realizada por uma IA.

A sociedade (ou pelo menos parte dela) tem se preocupado com a associação do “fast” em tudo o que fazemos... que parece ser oriundo dos famosos “fast food”, que significa “comida preparada e servida com rapidez”. E isso é muito bom, com certeza. Quem já não apelou para isso, quando atrasados, precisamos gastar o menor tempo possível de nossas vidas nos alimentando? Me parece que até a música está ficando mais “fast”... uma letra como “Faroeste Caboclo” da Legião Urbana parece inconcebível na juventude contemporânea acostumada à riqueza intelectual das letras do “funk”.

O fato é que o mundo real, o planeta em vivemos, por exemplo, não está nem aí para nossa crescente “correria”. E isso tem impactado nosso dia-a-dia, e o que antes era sutil, hoje é visível e mensurável. Alguns sinais são mais alarmantes do que os outros, mas não se pode ignorar as mensagens enviadas pelo ecossistema.

E já que tocamos no assunto da IA, não há como não entrarmos em um assunto da atualidade, o “chatgpt”. Fiz um teste agora, e consegui um editorial para a mix em menos de um minuto. Isso é maravilhoso (será?). Precisamos entender a ferramenta para verificarmos suas aplicações na ciência. Estamos, pouco a pouco, desenvolvendo protocolos para lidarmos com essa questão. Vamos deixar para vocês, caros leitores, a reflexão. Uma vez que nossa capacidade orgânica é suplantada em milhões de vezes pela IA, talvez tenhamos finalmente o tempo para evoluirmos enquanto sociedade. Afinal, precisamos mesmo de tempo, para encontrarmos respostas as nossas mais básicas questões.

Não há como discutirmos sustentabilidade em um mundo tão desigual como o nosso, onde após séculos de civilização e “conquistas”, ainda temos pessoas morando nas ruas, não tendo o que comer ou vestir, crianças morrendo por desnutrição, ou mesmo quando vemos, de modo inacreditável, países resolvendo suas diferenças da mesma forma que as tribos da idade média faziam... só que com armas mais mortíferas.

Após isso, e para enviar o editorial ao nosso bolsista para fecharmos a edição “em tempo”, para não sermos “penalizados” em não cumprir nossa periodicidade quadrimestral, seguem os artigos da edição.

Da PUC-Minas, o primeiro artigo da edição tem por título “Avaliação do impacto ambiental causado por concreto armado utilizado em pontes” com a realização de um comparativo de impactos em quatro obras de arte especiais (OAE) em concreto armado.

Os pesquisadores da UNIOESTE, do Paraná, apresentam o artigo “Disclosure dos custos ambientais: análise das empresas de energia elétrica listadas no índice de sustentabilidade empresarial (ISE)”, que tratou da análise de desembolsos realizados por empresas do setor de energia elétrica, com a finalidade de minimizar seus impactos ao meio ambiente. A conclusão é que esses desembolsos não são tratados como custos.

Já o terceiro artigo da edição é resultado de uma pesquisa em conjunto do IME com o CBPF, e tem como título “Comportamento mecânico do Polietileno de Alta Densidade Reforçado com nanoplatas de grafeno e tecido de juta”. Importante trabalho na área de materiais, apresenta um novo nanocompósito de Juta/HDPE/0,25%GNP, que constitui um material promissor para aplicações em engenharia.

O artigo 4, também da área de materiais, é resultado de pesquisa realizada na Universidade Federal do Rio de Janeiro, e tem por título “ACV de materiais

cimentícios suplementares e agregados reciclados: uma revisão sistemática”. Os autores analisaram Materiais Cimentícios Suplementares (MCS) e o Agregado Reciclado (AR), tendo por conclusão que ambos conseguem reduzir os impactos ambientais dos concretos e argamassas avaliadas, com uma redução maior quando usados ao mesmo tempo.

Também do estado de Minas Gerais, da UFVJM, o quinto artigo também é da área de engenharia civil, e tem por título “Avaliação da incorporação de resíduos siderúrgicos em blocos de solo-cimento”, cujos autores concluíram que o uso do bloco de solo-cimento nas construções com a utilização deste tipo de resíduo gera uma economia na obra e uma melhora nos aspectos ambientais.

O sexto artigo vem do INPI, e com o título “O uso de ativos de propriedade industrial na cadeia de valor da cachaça” mostra um estudo que visa destacar o potencial de incrementar a exploração das Indicações Geográficas, dada a diversidade de regiões produtoras no país e suas características intrínsecas de terrenos.

O artigo “Aspectos ambientais do inventário do ciclo de vida da taipa de pilão”, o sétimo da edição, é assinado por dois pesquisadores da UFMS, que mostram um estudo dos aspectos ambientais da taipa nas fronteiras da proposta “berço ao berço”.

O artigo 8 vem da parceria entre a UFAL e a UC de Salvador, e com o título “A relevância da estratégia ventilação natural para Paulo Afonso/BA/BR” apresentam estratégias passivas como promissoras para melhoria das condições climáticas.

E da UFSC, o artigo “Análise dos níveis de sustentabilidade: um estudo de caso do transporte de grãos utilizando rodotrilhos” mostra a busca de soluções sustentáveis para o setor de transportes, através da intermodalidade, a depender também do sequenciamento dos modais adotados na roteirização.

Mais um artigo na área da Arquitetura, o artigo 10 tem por título “Coberturas verdes: conceito, aplicação e desempenho”. Elaborado por pesquisadores da UNESP, concluiu que as coberturas verdes são soluções funcionais para se tornar o meio urbano um ambiente mais atrativo, proveitoso e benéfico para os seus cidadãos.

O décimo primeiro artigo da edição vem também do Rio de Janeiro, da UERJ, e tem por título “Uma visão geral sobre os Green Bonds no cenário pandêmico de 2020”, com dados interessantes que mostram que os países que mais emitem Green Bonds são os Estados Unidos, Alemanha e França, todos com mercado desenvolvido. Os autores observam um crescimento de emissão de Green Bonds em países emergentes, com destaque para China.

E concluindo a publicação dos artigos, o artigo 12, da UFPR, tem como título “Transparência para sustentabilidade: escopo em serviços digitais” e mostra que a transparência para a sustentabilidade em serviços digitais representa um desafio emergente para as organizações.

Complementando a edição tem-se a seção dos resumos. Não há como calcular ou mesmo estimar quanto “tempo” está envolvido em uma edição como essa. Contabiliza-se aqui toda a pesquisa realizada para elaboração de cada artigo, além de todo o tempo envolvido nas avaliações, correções, formatação e mesmo na elaboração desse editorial.

Com isso, desejamos que o tempo que você, caro (a) leitor (a) dedicar na leitura destes textos ajudem na promoção de um mundo mais sustentável.

Paulo Cesar Machado Ferroli e Lisiane Ilha Librelotto – editores da MIX Sustentável

AVALIAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL CAUSADO POR CONCRETO ARMADO UTILIZADO EM PONTES

ENVIRONMENTAL IMPACT EVALUATION CAUSED BY REINFORCED CONCRETE USED IN BRIDGES

EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL PROVOCADO POR EL HORMIGÓN ARMADO UTILIZADO EN PUENTES

GLÁUCIA NOLASCO DE ALMEIDA MELLO, Dra. | PUC-MINAS - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
LUCAS LOPES DE CARVALHO PENA | PUC-MINAS - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
LEONARDO MINDÉLLO MUSCHIONI | PUC-MINAS - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

RESUMO

O presente trabalho avalia o impacto ambiental causado por obras de arte especiais (OAE), neste caso, quatro pontes de concreto armado. O principal objetivo foi a avaliação dos impactos considerando o processo de produção de elementos estruturais de concreto armado. As pontes são obras de infraestrutura de cidades e rodovias essenciais para a economia da sociedade. Não há muitos estudos que apresentem resultados de avaliação de impactos ambientais causados por essas construções. Neste contexto, a pesquisa se ateve à avaliação da fase pré-operacional do objeto que visa levantamento dos consumos de materiais utilizados na construção dos elementos estruturais dessas OAE. Utilizou-se da abordagem quantitativa-qualitativa por meio do programa OPENLCA versão 1.11.0 e a base de dados ecoinvent35_APOS_UP_20181210 fornecida pela Ecoinvent. Foi realizada a análise dos impactos apenas para o compósito concreto armado. Nesta análise, tanto o aço quanto o concreto apresentaram contribuição significativa para a degradação do meio ambiente. Percentualmente, o aço se sobressai ligeiramente, sendo responsável por 52,7% das contribuições computadas, enquanto o concreto se responsabiliza por 47,3%.

PALAVRAS-CHAVE

Avaliação do Ciclo de Vida; impacto ambiental; concreto armado; pontes.

ABSTRACT

This paper evaluates the environmental impact caused by special structures, in this case, four reinforced concrete bridges. The main objective was to evaluate the impacts considering the production process of their structural elements of reinforced concrete. Bridges are very important infrastructure construction of cities and highways, and they are essential for economy of society. There are not many studies that present results of evaluation of environmental impacts caused by these constructions. In this context, the research was focused on the evaluation of the pre-operational phase of the object that aims to survey the consumption of materials used in the construction of the structural elements of them. A quantitative-qualitative approach was used through the OPENLCA program version 1.11.0 and the database ecoinvent35_APOS_UP_20181210 provided by Ecoinvent. The analysis of the impacts was performed only for the reinforced concrete composite. In this analysis, both steel and concrete presented significant contribution to the degradation of the environment. Percentage wise, steel stands out slightly, being responsible for 52.7% of the contributions computed, while concrete is responsible for 47.3%.



KEYWORDS

Life Cycle Assessment; environmental impact; reinforced concrete; bridges.

RESUMEN

El presente trabajo evalúa el impacto ambiental causado por obras especiales (OE), en este caso, cuatro puentes de hormigón armado. El objetivo principal fue evaluar los impactos de ellas considerando el proceso de producción de los elementos estructurales de hormigón armado. Los puentes son obras de infraestructura de las ciudades y carreteras esenciales para la economía de la sociedad. No existen muchos estudios que presenten resultados de evaluación de los impactos ambientales causados por estas construcciones. En este contexto, la investigación se centró en la evaluación de la fase preoperativa del objeto que tiene por objeto estudiar el consumo de materiales utilizados en la construcción de elementos estructurales de estas OE. Se utilizó un enfoque cuantitativo-cualitativo a través del programa OPENLCA versión 1.11.0 y la base de datos ecoinvent35_APOS_UP_20181210 proporcionada por Ecoinvent. El análisis de los impactos se realizó únicamente para el compuesto de hormigón armado. En este análisis, tanto el acero como el hormigón presentaron una contribución significativa a la degradación del medio ambiente. Porcentualmente, el acero destaca ligeramente, siendo responsable del 52,7% de las contribuciones computadas, mientras que el hormigón es responsable del 47,3%.

PALABRAS CLAVE

Evaluación del ciclo de vida; impacto ambiental; hormigón armado; puentes.

1. INTRODUÇÃO

A Diretoria Executiva do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) relata o aumento das emissões no setor da construção civil em 2019, entretanto, para atingir a neutralidade de emissões até 2050, a Agência Internacional de Energia (AIE) estima que as emissões diretas de CO₂ dos edifícios precisam cair 50% até 2030 e as indiretas do setor de construção precisam cair 60% até o mesmo ano. Para alcançar esse objetivo há necessidade de concentração em estratégias que reduzam a demanda de energia no ambiente construído, tais como, descarbonizar o setor energético e utilização de materiais que reduzam as emissões de carbono do ciclo de vida (UNITED NATIONS ORGANIZATION, 2020; JORDAN et al., 2020).

No Brasil em 2016, o setor da produção de cimento contribuiu em 24,9% dos totais das emissões de gases do efeito estufa e o setor da metalurgia, que além de fabricar outros metais fabrica o aço utilizado no concreto armado, foi responsável por 48,2% das emissões totais desses gases (BRASIL, 2020).

Na construção civil, o composto concreto armado (concreto + aço) é o material mais consumido no mundo. Ele é utilizado desde a construção de edifícios até obras de arte especiais (OAE), como as pontes, por exemplo. As pontes desempenham um papel no desenvolvimento social e econômico das comunidades, funcionando como um meio de comunicação entre as pessoas e permitindo a circulação de bens, mercadorias e serviços (CHEN et al., 2021). Ao se projetar uma ponte espera-se que ela desempenhe as funções para as quais foi concebida durante um período aproximado de cem anos, estimando-se para isso apenas manutenções preventivas.

Com a metodologia de análise do ciclo de vida (ACV) é possível identificar e compreender os potenciais impactos ambientais do ciclo de vida de um produto. Contudo, a NBR ISO 14040 (ABNT, 2009a) afirma que não existe um método único para se conduzir uma ACV, e cada organização tem a flexibilidade para implementar a ACV. Segundo a mesma norma (ABNT, 2009a), a metodologia de ACV é aberta à inclusão de novas descobertas científicas e de melhorias da técnica.

Além disso, não existe base científica para a redução dos resultados obtidos por meio da ACV a um valor único e, assim, cabe análise e tomada de decisão de cada setor ou empresa para intervir nesses valores. Portanto, diversos pesquisadores têm aplicado a ACV para avaliar o impacto de materiais alternativos que possam substituir os

mais impactantes no ambiente.

Por exemplo, para tentar abaixar as taxas de emissão de CO₂, grupos de pesquisadores têm trabalhado em projetos que analisam composições diferentes para o concreto, incluindo análise por meio de ACV. Pradhan, Poh e Qian (2022) avaliaram a substituição de parte do clínquer utilizado na fabricação do cimento por materiais suplementares: cinzas volantes, escória granulada moída de alto-forno e argila de calcário calcinado. Na análise dos autores a escória granulada moída de alto-forno apresentou índices de impacto ambiental mais baixos que os obtidos para a argila de calcário calcinado. No entanto, ao ser considerada a vida útil no limite do sistema (do berço ao túmulo) o concreto produzido com argila de calcário calcinado resultou em menor impacto ambiental em todas as categorias (exceto acidificação e ecotoxicidade terrestre).

Segundo Marinkovic, Carevic e Dragaš (2021), na avaliação comparativa do ACV de estruturas de concreto é muito importante levar em consideração a equivalência funcional das alternativas comparadas. Assim, torna-se difícil a comparação entre concreto convencional e ecológico, uma vez que eles têm diferentes propriedades mecânicas e de durabilidade. Em decorrência disso, as estruturas correspondentes têm resistência e vida útil diferentes. Contudo, há duas abordagens possíveis: a correção do funcional do volume unitário ou a correção dos impactos ambientais calculados com a resistência à compressão e a durabilidade considerada, se a unidade funcional tiver o mesmo volume. Os autores aplicaram a metodologia ACV em 94 misturas diferentes de pesquisas experimentais relatadas e com os seguintes impactos ambientais calculados: mudanças climáticas, acidificação, eutrofização, criação fotoquímica-oxidante e esgotamento abiótico de combustíveis fósseis. Os resultados mostraram que a modelagem da ACV baseada na abordagem de correção da resistência e durabilidade comparada aos resultados baseados em unidades com o mesmo volume, pode originar conclusões diferentes. Dessa forma, os autores concluíram que a melhor forma de avaliação seria considerar conjuntamente os aspectos estruturais, ambientais e econômicos.

Tendo isso em vista, com essa investigação pretendeu-se responder à pergunta: dentre os materiais concreto e aço utilizados na construção de obras de arte especiais, neste caso, as pontes, qual deles causa o maior impacto ambiental?

Assim, esta pesquisa foi conduzida com o principal objetivo de realizar avaliações quantitativas de alguns indicadores de impacto ambiental em função do processo de

produção dos elementos de concreto armado de quatro pontes. Pretendeu-se, ainda, analisar quantitativa e qualitativamente o potencial do impacto ambiental do concreto e do aço utilizado nessas construções. A metodologia adotada foi a ACV conduzida com o auxílio do programa OpenLCA.

2. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

A ACV é uma abordagem relativa, estruturada em torno de uma unidade funcional que é o desempenho quantificado de um sistema de produto para utilização como uma unidade de referência. O sistema de um produto compreende um conjunto de processos elementares que desempenham uma ou mais funções definidas e modela o ciclo de vida de um produto. Segundo a NBR ISO 14040 (ABNT, 2009a), ACV é um processo que engloba um conjunto de atividades interativas que transformam entradas em saídas. Esse processo ocorre por meio de dois fluxos: de produto e elementar. O primeiro diz respeito ao material ou energia retirada do meio ambiente que não sofre transformação por interferência humana quando entram no sistema em estudo, ou material ou energia que ao saírem do sistema não sofrem transformação causadas por interferências humanas. O segundo é relativo ao fluxo do produto, matéria-prima ou energia que deixa um processo elementar, menor elemento considerado na avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV).

De acordo com a ABNT (2009a), a realização de uma ACV deve conter as seguintes fases: (I) análise de inventário; (II) avaliação de impactos; e (III) interpretação.

2.1. Análise de inventário

O método de AICV tem como função avaliar as liberações de inventário de acordo com os padrões normativos, resultando em indicadores de impacto relacionados à saúde humana, ao ecossistema e ao esgotamento de recursos (DU, 2015). Os dados fornecidos pelo banco de dados de inventário do ciclo de vida (ICV), que compreende milhares de conjuntos de processos, seriam atribuídos apenas aos cenários selecionados.

A análise de inventário do ciclo de vida (ICV) consiste no levantamento de entradas e saídas em processos e produtos dentro da fronteira delimitada do sistema, ponderando os resultados pela unidade funcional adotada (MOURAD; GARCIA; VILHENA, 2002). Além disso, o processo de realização da ACV é iterativo e, à medida que se conhece melhor o processo estudado, novos detalhes

podem ser observados. Portanto, mudanças nos procedimentos, na coleta de dados ou nas premissas adotadas na etapa de definição de objetivo e escopo podem ser necessárias (ABNT, 2009a).

A análise de ICV é composta por etapas de coleta dos dados, alocação e procedimentos de cálculo, conforme ilustra a Figura 1.

Os dados a serem incluídos no inventário devem ser coletados para cada processo, e esses são utilizados para quantificar as entradas e saídas de um processo. Todos os dados obtidos devem ser devidamente referenciados. Todas as informações a respeito dos dados coletados devem ser detalhadas para melhor análise do estudo (ABNT, 2009b).

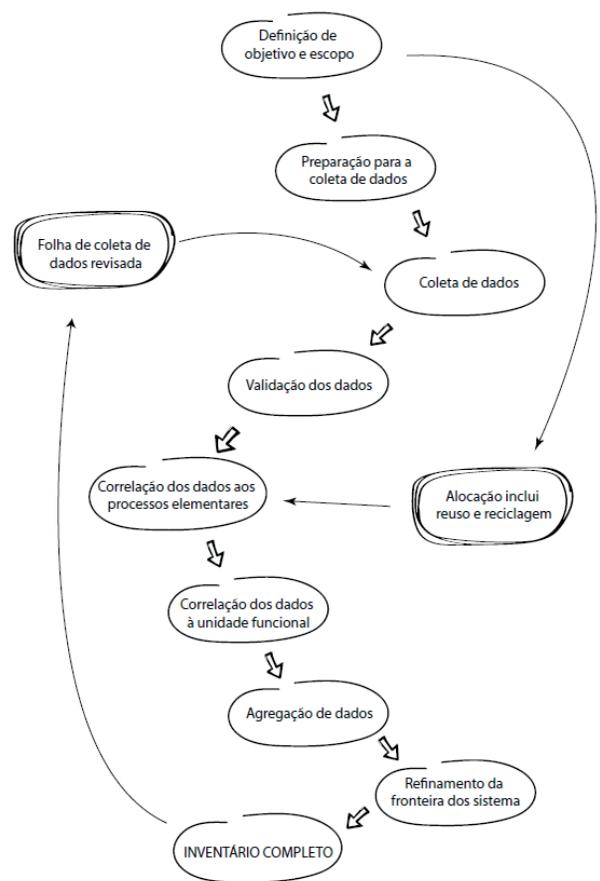


Figura 1: Procedimentos para análise de inventário.
Fonte: Adaptado da NBR ISO 14044:2009 (ABNT, 2009b).

Com a validação dos dados, o próximo passo é computar os quantitativos de entrada e saída do processo elementar. Ao realizar o cálculo dos fluxos é necessário referenciar os dados de entrada e saída em relação à unidade funcional. Dessa forma, é possível agregar as entradas e saídas no sistema de produto. O nível de agregação deve ser consistente com o objetivo do estudo. Convém que

os dados sejam agregados somente se estiverem relacionados a substâncias equivalentes e impactos ambientais semelhantes.

Finalmente, após realizar todas essas etapas, é necessário reavaliar e refinar todas as fronteiras do sistema de tal forma a considerar a possível exclusão de processos do ciclo de vida. A exclusão será determinada por meio de uma análise de sensibilidade que consiste no processo para verificar se as informações obtidas são relevantes para as conclusões da investigação (ABNT, 2009b).

2.2. Avaliação de impactos

É a fase da avaliação do impacto do ciclo de vida que visa ao entendimento e à avaliação da magnitude e significância dos potenciais impactos ambientais de um sistema de produto ao longo do ciclo de vida (ABNT, 2009b). A AICV é a etapa na qual os resultados do ICV são avaliados e os impactos ambientais são classificados em diferentes categorias (MOURAD; GARCIA; VILHENA, 2002).

Categorias de impacto são diferentes áreas de interesse para classificar impactos ambientais em uma unidade funcional. A seleção das categorias de impacto depende dos objetivos e escopo da ACV, além da aplicação do estudo. Diferentes metodologias podem ser aplicadas numa ACV, dependendo de premissas adotadas e do objetivo final do estudo (MATTHEWS; HENDRICKSON; MATTHEWS, 2014).

A AICV trata-se de uma abordagem relativa baseada em um sistema de produto com desempenho quantificado (unidade de referência). Os elementos obrigatórios que uma AICV deve conter, segundo ABNT (2009b) são: (I) definição dos indicadores de impacto por categoria e caracterização; (II) correlação os resultados do ICV com as categorias de impacto; e (III) cálculo dos indicadores de categoria.

2.3. Interpretação

A interpretação do ciclo de vida é a análise dos dados obtidos para tomadas de decisões e recomendações de melhorias no desempenho da avaliação do ciclo de vida do concreto (ISLAM; JOLLANDS; SETUNGE, 2015). Na fase de interpretação do ciclo de vida de um estudo de ACV deve-se: (I) identificar questões significativas com os resultados das fases de ICV e AICV; (II) realizar uma avaliação do estudo após análise de sensibilidade e consistência; (III) elaborar conclusões, limitações e recomendações (ABNT, 2009b). Convém que os resultados do ICV sejam

interpretados com cuidado, uma vez que eles se referem aos dados de entrada e saída e não aos impactos ambientais. Incertezas podem ser introduzidas nos resultados de um ICV devido aos efeitos combinados dessas nas entradas e variabilidades dos dados (ABNT, 2009b).

Para avaliar o ciclo de vida há uma metodologia denominada IMPACT World+. Esse método consiste basicamente em 4 pilares que se complementam no intuito de expressar um perfil de avaliação do impacto do ciclo de vida, de acordo com Bulle et al. (2019). Tem-se no Quadro 1 os pilares dessa metodologia, como segue:

ponto de vista midpoint, segundo Bare et al. (2000), o midpoint é um critério dentro do fluxo de causa e efeito de emissões para um determinado grupo de impacto, ou seja, fundamentalmente é uma abordagem voltada ao problema;

ponto de vista do nível do dano causado;

ponto de vista de impacto em áreas de preocupação (AoC, Area of Concern), sendo, saúde humana, qualidade do ecossistema e recursos e serviços do ecossistema. Esse último considera potenciais impactos na sociedade sem consequências diretas para a saúde humana, com foco especificamente no valor instrumental dos recursos e ecossistemas, conforme recomendado pelo UNEP; SETAC Life Cycle Initiative (VERONES et al., 2017). Esse ponto de vista tem por objetivo estimar os custos que a sociedade terá de arcar para manter ou substituir possíveis perdas de um recurso ou ecossistema;

ponto de vista de danos em AoCs, que agrupa as categorias de impacto relacionados à água, ao carbono e o restante dos itens dentro do grupo de danos à saúde humana e qualidade do ecossistema.

2.4. Programas de cálculo

A ACV pode ser produzida com o auxílio de programas comerciais ou não, associados a bancos de dados disponíveis, tais como SimaPro (www.pre.nl), Gabi (www.gabi-software.com), Athena (www.athenaSMI.ca), TEAM (www.ecobilan.com), JEMAI (www.jemai.or.jp/english/index.cfm); OpenLCA (<https://www.openlca.org/openlca/>) e bancos de dados LCI Ecoinvent (www.pre.nl/ecoinvent), ELCD (<http://lca.jrc.ec.europa.eu>), BEES (www.nist.gov/el/economics/BEESSoftware.cfm), SICV Brasil (<https://sicv.acv.ibict.br/Node/elementaryFlowList.xhtml?stock=default>).

A base de dados Ecoinvent possibilita que se extraia entendimento mais aprofundado a respeito dos impactos ambientais de produtos e serviços. Essa base incorpora

	Indicador do <i>midpoint</i>	Indicador do nível de impacto	Danos em AoP	Danos em AoC
	Pilar 1	Pilar 2	Pilar 3	Pilar 4
	Mudança Climática De Curto Prazo	Mudança Climática, Saúde Humana	Saúde humana	Água
	Mudança Climática De Longo Prazo	Mudança Climática, Qualidade Do Ecossistema		
	Destruição Da Camada De Ozônio	Acidificação Marinha		
	Acidificação De Água	Destruição Da Camada De Ozônio		
Emissão	Acidificação Terrestre	Acidificação De Água	Qualidade do ecossistema	Carbono
CO ²	Eutrofização De Água	Acidificação Terrestre		
CFC10	Eutrofização Marinha	Eutrofização De Água		
FOSFATO	Ecotoxicidade De Água Doce	Eutrofização Marinha		
Dióxido de nitrogênio	Câncer De Toxicidade Humana	Ecotoxicidade De Água Doce		
Cromo	Toxicidade Humana Não Câncer	Câncer De Toxicidade Humana		
Pesticida	Formação De Material Particulado	Toxicidade Humana Não Câncer		
Partículas	Formação De Oxidante Fotoquímico	Formação De Material Particulado		
Urânio 238	Radiações Ionizantes	Formação De Oxidante Fotoquímico		
Água de refrigeração	Uso De Recursos Minerais	Radiações Ionizantes, Saúde Humana		
	Uso De Recursos Fósseis	Radiações Ionizantes, Qualidade Do Ecossistema	Recursos e serviços ecossistêmicos	
Extração		Água Termicamente Poluída		
Minério de ferro	Escassez De Água	Disponibilidade De Água, Saúde Humana		
Óleo cru	Biodiversidade De Transformação Da Tera	Disponibilidade De Água, Ecossistema Terrestre		
Lençóis freáticos	Biodiversidade De Ocupação Da Tera	Disponibilidade De Água, Ecossistema De Água		
Terra arável		Transformação De Terra, Biodiversidade		
E centenas mais ...		Ocupação De Terra, Biodiversidade		

Quadro 1: Estrutura Impact World+.
Fonte: Adaptado Bulle et al. (2019)

um repertório de dados que possui tipos distintos de setores, tanto em nível global, como regional. Atualmente, ela possui mais de 18.000 atividades e produtos, também conhecidos como “conjunto de dados”. Por meio da modelagem do comportamento humano, os conjuntos de dados conseguem prover base sobre o processo industrial ou agrícola, mensurando recursos naturais extraídos do meio ambiente, estimando as emissões relacionadas com a água, solo e ar, além de produtos que exigem outros processos, eletricidade por exemplo, e alguns dos indicadores com maior impacto em relação a sustentabilidade, produtos, coprodutos e resíduos de produção.

Com o intuito de disponibilizar dados de qualidade e de forma variada, os conjuntos possuem informações para as mais diversas áreas geográficas, tendo parâmetros também para representar conjunto de dados para praticamente todas as atividades de forma global, ou seja, uma estimativa média da produção global de um determinado produto ou serviço. Para cada conjunto de dados na base Ecoinvent, estão disponíveis pontuações de AICV para diversos métodos de qualificação do impacto (como IPCC ou EF v3.0) e atividades de impacto correspondentes (como mudança climática, toxicidade humana, uso da água ou uso da terra). Mediante a estrutura do banco de dados é possível que sejam rastreados os impactos dos produtos de toda cadeia de suprimentos, tendo critérios suficientes para interpretação e entendimento dos resultados.

Com a definição do banco de dados a ser utilizado, deve-se integrar os dados intermediados por um programa que possa compatibilizar e processar os resultados. Por

meio do programa há a possibilidade de combinar bases de dados amplas e extensas. As ferramentas de ACV incluem vários métodos de AICV que facilitam o cálculo dos impactos ambientais. Um método AICV é fundamentalmente uma lista de fatores de caracterização para os tipos de fluxos. Esses fatores traduzem os resultados do conjunto de dados na forma de impacto ambiental. Utilizados de forma conjunta, a ferramenta ACV consiste em basicamente três elementos distintos: (I) banco de dados ICV; (II) programa de aplicação; e (III) Métodos AICV.

O banco de dados de ICV e os métodos AICV devem ser integrados ao programa. Ademais, os fatores de caracterização dos métodos citados devem ser devidamente mapeados para os fluxos dos conjuntos de dados.

O programa OpenLCA se tornou público em 2006 e foi criado por Jutta Hildenbrand, Michael Srocka, Andreas Ciroth na Alemanha (GREENDELTA, 2022). É um programa gratuito com código aberto sem nenhum custo de licença e totalmente transparente, porém as principais bases de dados são pagas e apresentam custos para atualização. Funciona de modo iterativo, construído para uma estrutura modular para avaliar e modelar o ciclo de vida tanto para modelos simples quanto para modelos complexos. Entre as principais facilidades estão o custo baixo, compatibilidade com diversos sistemas operacionais e pode ser personalizado de acordo com demandas específicas. No Brasil, o programa atende às exigências de projetos de ACV, seguindo as normativas NBR ISO 14040 (ABNT, 2009a) e NBR ISO 14044 (ABNT, 2009b).

OAE	Características	
Ponte 1	Vão central	24,0 m
	Balanços	2 x 2,95 m
	Extensão total	29,9 m
	Pista	2 x 3,5 m
	Acostamento	2 x 2,0 m
	Barreiras New Jersey	0,40m x 0,87m
	Largura total	11,8 m
Ponte 2	Vão central	27,90m
	Balanços	2 x 4,075 m
	Extensão total	36,55 m
	Pista	2 x 3,5 m
	Acostamento	2 x 2,0 m
	Barreiras New Jersey	0,40m x 0,87m
	Largura total	11,8 m
Ponte 3	Vão 1	15,0 m
	Vão 2	30,0 m
	Extensão total	45,0 m
	Pista	2 x 3,5 m
	Acostamento	2 x 2,0 m
	Barreiras New Jersey	0,40m x 0,87m
	Largura total	11,8 m
Ponte 4	Vão 1	18,5 m
	Vão central	40,0 m
	Vão 2	18,5 m
	Extensão total	77,0 m
	Pista	2 x 3,5 m
	Acostamento	2 x 2,0 m
	Barreiras New Jersey	0,40m x 0,87m
Largura total	11,8 m	

Quadro 2: Descrição das quatro OAEs (pontes) investigadas.
Fonte: Autores.

OAE	Material	
Ponte 1	Aço CA-50 (kg)	32.027,00
	Concreto 10 MPa (m ³)	5,71
	Concreto 20 MPa (m ³)	9,14
	Concreto 30 MPa (m ³)	38,13
	Concreto 35 MPa (m ³)	18,82
	Concreto 40 MPa (m ³)	207,36
Ponte 2	Aço CA-50 (kg)	43.241,00
	Concreto 10 MPa (m ³)	5,68
	Concreto 20 MPa (m ³)	32,48
	Concreto 30 MPa (m ³)	39,31
	Concreto 35 MPa (m ³)	18,74
	Concreto 40 MPa (m ³)	239,83
Ponte 3	Aço CA-50 (kg)	59.471,42
	Concreto 10 MPa (m ³)	5,53
	Concreto 20 MPa (m ³)	12,00
	Concreto 30 MPa (m ³)	47,66
	Concreto 35 MPa (m ³)	31,07
	Concreto 40 MPa (m ³)	473,89
Ponte 4	Aço CA-50 (kg)	118.024,00
	Concreto 10 MPa (m ³)	4,72
	Concreto 20 MPa (m ³)	77,31
	Concreto 30 MPa (m ³)	88,97
	Concreto 35 MPa (m ³)	145,93
	Concreto 40 MPa (m ³)	537,76

Quadro 03: Quantitativos de concreto e aço.
Fonte: Autores.

fck (MPa)	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Água (kg)
10	258	833	1091	144
20	351	747	1097	149
30	426	676	1103	154
35	469	637	1106	156
40	495	613	1107	158

Quadro 04: Consumo de materiais por metro cúbico.
Fonte: Autores.

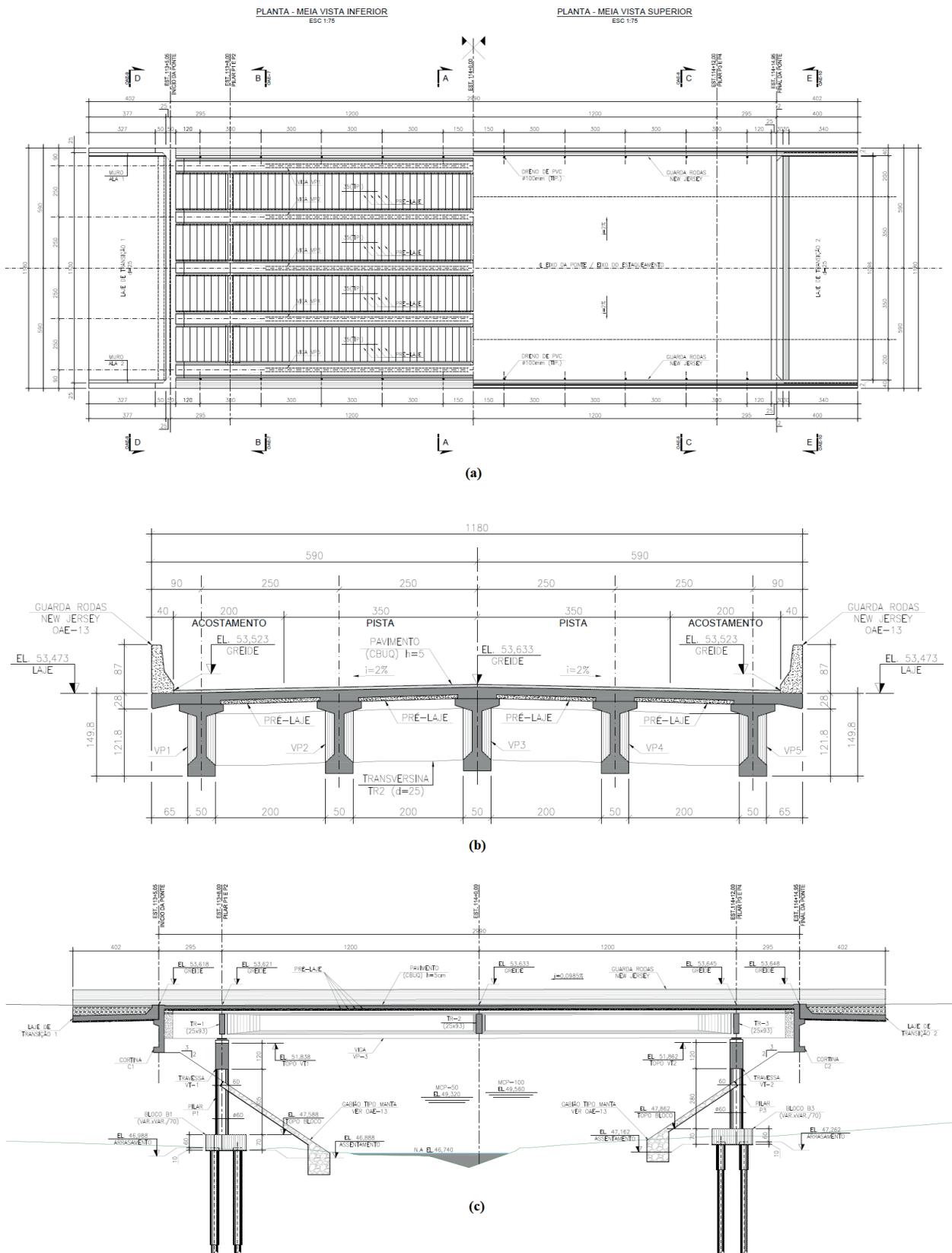


Figura 02: Planta baixa da Ponte 01 (a), corte da seção AA (b), e corte longitudinal (c).
Fonte: Acervo dos autores.

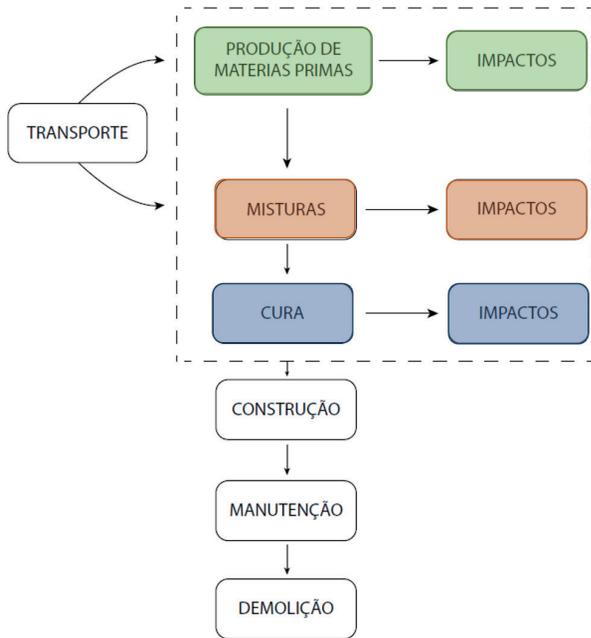


Figura 03: Fronteira do sistema.
Fonte: Autores.

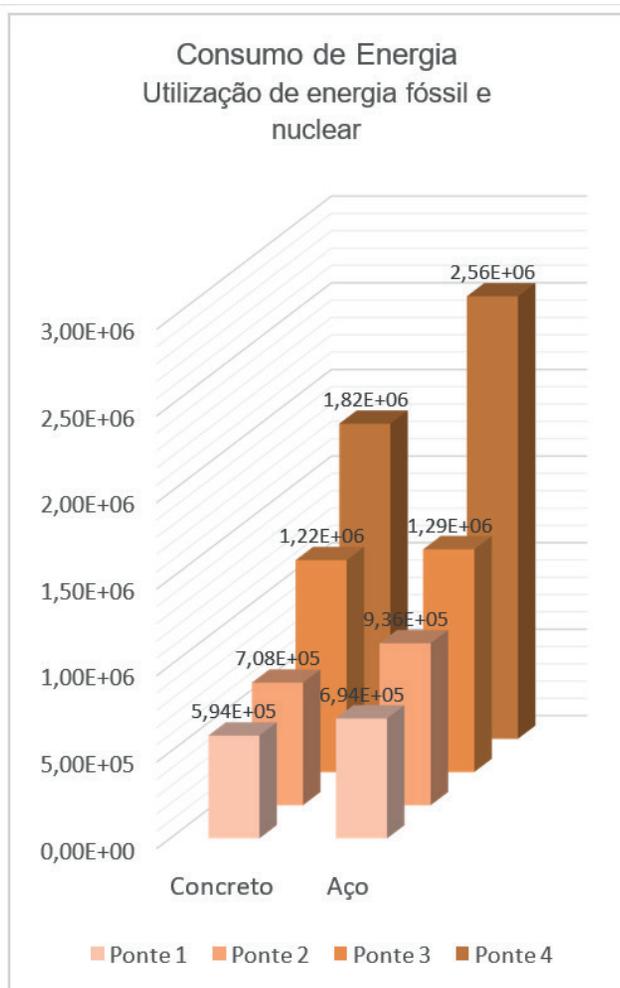


Figura 04: Resultados para a categoria consumo de energia.
Fonte: Autores.

3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Esta pesquisa exploratória-descritiva incluiu abordagens qualitativa e quantitativa. A primeira foi empregada na definição de indicadores observáveis e a segunda para destacar os valores mensurados por meio do programa computacional OpenLCA. A segunda englobou a análise dos resultados para compreender o nível do impacto da utilização do concreto armado nas pontes investigadas.

Foram selecionadas quatro obras de artes, neste caso, pontes projetadas para serem executadas com concreto armado. As pontes elegidas possuem diferentes vãos, mas geometria similar.

Para a estimativa dos impactos das OAEs os cálculos foram realizados com auxílio do programa OPENLCA (v. 1.11.0), e os dados de entrada foram selecionados da base de dados ecoinvent35_APOS_UP_20181210 fornecida pela Ecoinvent.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As pontes investigadas possuem geometria similar à da Ponte 1, conforme ilustra a Figura 2. As quatro pontes são de concreto armado com alguns elementos estruturais protendidos. A diferença básica entre elas é a extensão, a saber: Ponte 1 com 29,9 m; Ponte 2 com 36,55 m, Ponte 3 com 45,0 m e a Ponte 4 com 77,0 m. No Quadro 2 tem-se as características geométricas de cada uma das pontes.

Nos projetos das estruturas foram especificadas as resistências à compressão do concreto (fck), a saber, 10 MPa, 20 MPa, 30 MPa, 35 MPa e 40 MPa (Quadro 3). O aço especificado em projeto e analisado foi o aço CA-50 - tensão de escoamento nominal de 500 MPa. O Quadro 3 também apresenta os quantitativos para os materiais, concreto e aço, levantados por ponte. Os traços dos concretos para essas estruturas foram produzidos com brita 2, diâmetro de 19 a 25 mm, conforme estabelecido no Quadro 4.

No que diz respeito à definição de fronteira do sistema deste estudo, foram consideradas para a análise do concreto as fases de produção de matéria-prima, mistura e cura, e para o aço foi considerada a fase de produção de matéria-prima, ver Figura 3.

Baseando-se na literatura consultada, selecionou-se dezoito fatores de impacto (ver Tabelas 1 e 2) que foram separados em quatro categorias de interesse: consumo de energia, aquecimento global (emissões), qualidade do ecossistema e saúde humana. Como o concreto é composto principalmente por quatro materiais, cimento, areia, brita e água, resolveu-se que na ACV também seriam

Categoria	Impacto	Unidade	Ponte 1					Ponte 2				
			Cimento	Areia	Brita	Água	Aço	Cimento	Areia	Brita	Água	Aço
Consumo de energia	Utilização de energia fóssil e nuclear	MJ deprived	4,77E+05	7,33E+04	4,36E+04	3,96E+02	6,94E+05	8,90E+04	5,25E+04	4,76E+02	9,36E+05	
	Aquecimento global, longo prazo	kg CO ₂ eq (long)	1,14E+05	6,40E+03	3,09E+03	2,90E+01	7,11E+04	7,77E+03	3,72E+03	3,48E+01	9,61E+04	
	Aquecimento global, curto prazo	kg CO ₂ eq (short)	1,16E+05	6,74E+03	3,26E+03	3,08E+01	7,50E+04	8,18E+03	3,93E+03	3,70E+01	1,01E+05	
	Acidificação aquática	kg SO ₂ eq	1,42E-09	2,92E-10	1,04E-10	8,94E-13	1,72E-09	3,54E-10	1,25E-10	1,07E-12	2,32E-09	
Qualidade do ecossistema	Depleção da camada de ozônio	kg CFC-11 eq	3,75E-03	5,22E-04	2,56E-04	1,14E-05	3,96E-03	6,34E-04	3,08E-04	1,37E-05	5,34E-03	
	Acidificação terrestre	kg SO ₂ eq	9,21E-04	1,79E-04	6,87E-05	5,61E-07	1,09E-03	2,18E-04	8,26E-05	6,74E-07	1,48E-03	
	Ecotoxicidade aquática	CTUe	1,74E+08	7,63E+07	2,73E+07	2,92E+05	5,66E+08	9,27E+07	3,29E+07	3,51E+05	7,64E+08	
	Eutrofização aquática	kg PO ₄ -P-lim eq	1,70E-01	2,50E-02	9,11E-03	5,07E-05	1,56E-01	3,03E-02	1,10E-02	6,08E-05	2,10E-01	
Saúde humana	Eutrofização marinha	kg N N-lim eq	2,97E+00	3,63E-01	2,08E-01	1,30E-03	2,79E+00	4,41E-01	2,50E-01	1,56E-03	3,77E+00	
	Ocupação do solo, biodiversidade	m ² arable lande eq.yr	3,93E+02	2,22E+02	1,02E+02	3,69E-01	8,54E+02	2,70E+02	1,23E+02	4,43E-01	1,15E+03	
	Transformação do solo, biodiversidade	m ² arable lande eq	6,08E+00	4,80E+00	8,01E+00	3,90E-03	8,34E+00	5,83E+00	9,64E+00	4,68E-03	1,13E+01	
	Utilização de recursos marinhos	kg deprived	3,13E+04	7,47E+01	2,00E+02	1,79E+00	2,55E+04	9,08E+01	2,41E+02	2,14E+00	3,45E+04	
Saúde humana	Escassez de água	m ³ world eq	1,04E+04	1,19E+04	4,95E+03	1,89E+03	3,09E+04	1,45E+04	5,95E+03	2,27E+03	4,18E+04	
	Toxicidade humana cancerígena	CTUh	1,41E-03	2,74E-04	3,36E-04	7,74E-06	3,54E-02	1,68E-03	4,05E-04	9,29E-06	4,77E-02	
	Toxicidade humana não cancerígena	CTUh	8,70E-03	1,03E-03	6,73E-04	1,15E-05	3,38E-02	1,03E-02	8,11E-04	1,38E-05	4,56E-02	
	Radiações ionizantes	Bq C-14 eq	1,71E+05	2,55E+04	3,74E+04	2,81E+02	2,72E+05	3,09E+04	4,50E+04	3,38E+02	3,67E+05	
Saúde humana	Formação de material particulado	kg PM2.5 eq	1,90E+01	5,47E+00	2,13E+00	1,86E-02	4,57E+01	6,65E+00	2,56E+00	2,23E-02	6,17E+01	
	Formação de oxidantes fotoquímicos	kg NMVOC eq	2,11E+02	2,91E+01	1,41E+01	9,40E-02	3,02E+02	3,53E+01	1,70E+01	1,13E-01	4,08E+02	

Tabela 01: Fatores de impacto das Pontes 1 e 2, categorizados.
 Fonte: Autores.

Categoria	Impacto	Unidade	Ponte 3					Ponte 4				
			Cimento	Areia	Brita	Água	Aço	Cimento	Areia	Brita	Água	Aço
Consumo de energia	Utilização de energia fóssil e nuclear	MJ deprived	9,86E+05	1,48E+05	8,92E+04	8,10E+02	1,29E+06	2,24E+05	1,34E+05	1,21E+03	2,56E+06	
	Aquecimento global, longo prazo	kg CO ₂ : eq (long)	2,36E+05	1,30E+04	6,32E+03	5,93E+01	1,32E+05	1,96E+04	9,46E+03	8,87E+01	2,62E+05	
	Aquecimento global, curto prazo	kg CO ₂ : eq (short)	2,40E+05	1,37E+04	6,67E+03	6,30E+01	1,39E+05	2,06E+04	9,99E+03	9,43E+01	2,76E+05	
	Acidificação aquática	kg SO ₂ : eq	2,94E+09	5,91E+10	2,12E+10	1,83E-12	3,20E+09	8,93E-10	3,17E-10	2,74E-12	6,34E-09	
Qualidade do ecossistema	Depleção da camada de ozônio	kg CFC-11 eq	7,75E-03	1,07E-03	5,28E-04	2,34E-05	7,35E-03	1,60E-03	7,76E-04	3,50E-05	1,46E-02	
	Acidificação terrestre	kg SO ₂ : eq	1,91E-03	3,65E-04	1,44E-04	1,15E-06	2,03E-03	5,05E-04	2,08E-04	1,72E-06	4,03E-03	
	Ecotoxicidade aquática	CTUe	3,59E+08	1,55E+08	5,58E+07	5,98E+05	1,05E+09	2,34E+08	8,36E+07	8,94E+05	2,09E+09	
	Eutrofização aquática	kg PO ₄ -P-lim eq	3,52E-01	5,06E-02	1,86E-02	1,04E-04	2,89E-01	7,64E-02	2,79E-02	1,55E-04	5,74E-01	
Saúde humana	Eutrofização marinha	kg N N-lim eq	6,14E+00	7,36E-01	4,24E-01	2,67E-03	5,18E+00	1,11E+00	6,36E-01	3,99E-03	1,03E+01	
	Ocupação do solo, biodiversidade	m ² arable lande eq.yr	8,13E+02	4,51E+02	2,09E+02	7,55E-01	1,59E+03	6,80E+02	3,12E+02	1,13E+00	3,15E+03	
	Transformação do solo, biodiversidade	m ² arable lande eq	1,26E+01	9,72E+00	1,64E+01	7,98E-03	1,55E+01	1,47E+01	2,45E+01	1,19E-02	3,07E+01	
	Utilização de recursos marinhos	kg deprived	6,48E+04	1,51E+02	4,09E+02	3,65E+00	4,74E+04	2,29E+02	6,12E+02	5,47E+00	9,42E+04	
Saúde humana	Escassez de água	m ³ world eq	2,14E+04	2,41E+04	1,01E+04	3,87E+03	5,74E+04	3,64E+04	1,51E+04	5,80E+03	1,14E+05	
	Toxicidade humana cancerígena	CTUh	2,91E-03	5,48E-04	6,85E-04	1,58E-05	6,57E-02	4,32E-03	1,02E-03	2,37E-05	1,30E-01	
	Toxicidade humana não cancerígena	CTUh	1,80E-02	2,08E-03	1,37E-03	2,35E-05	6,27E-02	2,66E-02	2,06E-03	3,52E-05	1,24E-01	
	Radiações ionizantes	Bq C-14 eq	3,54E+05	5,16E+04	7,65E+04	5,76E+02	5,05E+05	7,80E+04	1,15E+05	8,62E+02	1,00E+06	
Saúde humana	Formação de material particulado	kg PM2.5 eq	3,93E+01	1,11E+01	4,34E+00	3,80E-02	8,48E+01	1,67E+01	6,51E+00	5,69E-02	1,68E+02	
	Formação de oxidantes fotoquímicos	kg NMVOC eq	4,37E+02	5,90E+01	2,89E+01	1,92E-01	5,61E+02	8,91E+01	4,33E+01	2,88E-01	1,11E+03	

Tabela 01: Fatores de impacto das Pontes 3 e 4-----, categorizados.
Fonte: Autores.

considerados os impactos de cada um separadamente. Os valores para cada fator de impacto foram comparados entre as quatro pontes, levando-se em consideração o volume de concreto determinado para cada uma.

Para a análise do aço foram utilizados os impactos totais referente a cada categoria, comparando-se os valores obtidos para as quatro pontes, em função do peso (kg) de aço determinado para cada uma.

A primeira categoria, consumo de energia, contém um impacto analisado, utilização de energia fóssil e nuclear, como pode ser observado no gráfico da Figura 4. Nessa categoria a contribuição do aço é predominante (53,9% - Ponte 1; 56,9% - Ponte 2; 51,3% - Ponte 3; 58,4% - Ponte 4) ao ser comparada à contribuição do concreto (46,1% - Ponte 1; 43,1% - Ponte 2; 48,7% - Ponte 3; 41,6% - Ponte 4).

Todos os valores, obtidos por meio do programa OpenLCA, dos dezoito fatores de impacto contemplados nesta pesquisa para cada uma das pontes avaliadas estão apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Ao se relacionar os fatores de impacto com o peso (kg) do aço utilizado na construção das pontes, verificou-se uma tendência linear com um fator de correlação igual a 1 (Figura 5). A mesma tendência foi observada para todos os outros fatores quando correlacionados ao peso (kg) de aço consumido na construção.

Tanto para o concreto quanto o cimento, na correlação determinada entre volume de concreto (m3) e fatores de impacto, também houve tendência linear. Nesse caso, os fatores de correlação foram 0,91 e 0,92 para concreto e cimento, respectivamente (Figura 6). Para os demais fatores de impacto observados foi identificada a mesma tendência linear quando correlacionados ao volume de concreto consumido na construção. Os fatores de correlação variaram entre 0,90 e 0,94.

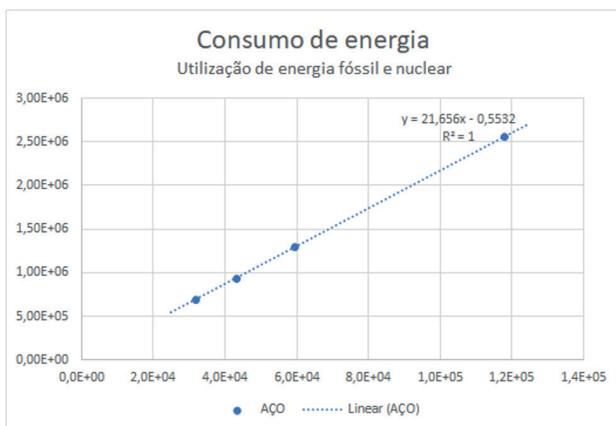


Figura 05: Correlação entre o peso (kg) de aço e o fator de impacto utilização de energia fóssil e nuclear.
Fonte: Autores.

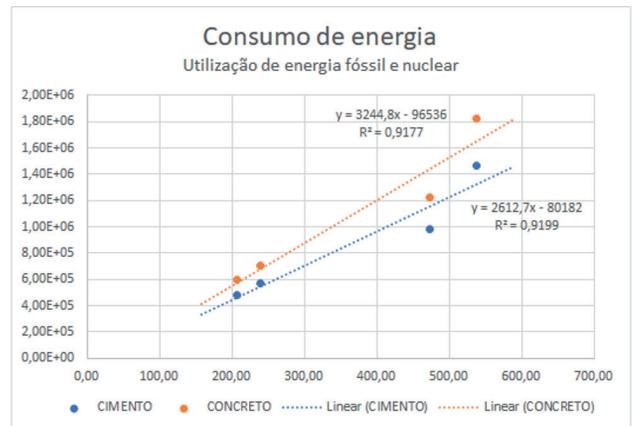


Figura 06: Correlação entre o peso (kg) de aço e o fator de impacto utilização de energia fóssil e nuclear.
Fonte: Autores.

Considerando o material areia isoladamente, os fatores de impacto mais significativos foram os categorizados em qualidade do ecossistema. Comparando-os à contribuição total avaliada (aço + concreto), os que se destacaram foram:

- escassez de água: 19,8% para Ponte 1; 18,8% para Ponte 2; 20,6% para Ponte 3; 17,9% para Ponte 4;
- transformação do solo, biodiversidade: 17,6% para Ponte 1; 17,2% para Ponte 2; 17,9% para Ponte 3; 16,6% para Ponte 4;
- ocupação do solo, biodiversidade: 14,1% para Ponte 1; 13,4% para Ponte 2; 14,7% para Ponte 3; 12,7% para Ponte 4.

Os maiores impactos ambientais causados pela utilização da brita foram os mesmos destacados para a areia, com as seguintes contribuições em relação ao total computado para cada ponte:

- transformação do solo, biodiversidade: 29,4% para Ponte 1; 28,4% para Ponte 2; 30,2% para Ponte 3; 27,7% para Ponte 4;
- escassez de água: 8,2% para Ponte 1; 7,8% para Ponte 2; 8,6% para Ponte 3; 7,5% para Ponte 4;
- ocupação do solo, biodiversidade: 6,5% para Ponte 1; 6,1% para Ponte 2; 6,8% para Ponte 3; 5,8% para Ponte 4.

Percebeu-se que nos resultados da AICV da categoria saúde humana, a contribuição do aço sobressaiu-se em todos os fatores de impacto. Sendo que para o fator toxicidade humana cancerígena, esse material é responsável por quase a totalidade das contribuições (94,6% para

Ponte 1; 95,2% para Ponte 2; 94,0% para Ponte 3; 95,5% para Ponte 4). Verificou-se, ainda, que a contribuição do concreto se aproxima bastante à do aço em radiações ionizantes e formação de oxidantes fotoquímicos.

Ao serem avaliados os resultados obtidos para a categoria aquecimento global (emissões), a contribuição do concreto se sobressai em todos os fatores observados, com uma pequena variação na maioria dos fatores. Contudo, para o fator aquecimento global (longo prazo), a sua contribuição (63,4% para Ponte 1; 60,5% para Ponte 2; 65,9% para Ponte 3; 59,1% para Ponte 4) é muito superior à contribuição do aço (36,5% para Ponte 1; 39,5% para Ponte 2; 34,1% para Ponte 3; 40,9% para Ponte 4). O processo de fabricação do cimento envolve queima de combustível fóssil, o que explica os altos valores apresentados nos resultados da AICV desse material para a categoria aquecimento global. A queima de carvão causa impactos ambientais significativos, uma vez que envolve emissão de material particulado e de gases poluentes, dentre os quais se destacam o dióxido de enxofre e os óxidos de nitrogênio. Além de prejudiciais à saúde humana, esses gases são os principais responsáveis pela formação da chamada chuva ácida, que provoca a acidificação do solo e da água e, conseqüentemente, alterações na biodiversidade.

A emissão CO₂ ocorre em um dos processos de produção do cimento conhecido como calcinação, que consiste na descarbonatação do calcário para transformá-lo no clínquer. Após extrair e moer o calcário (CaCO₃), esse é submetido a temperaturas de 1200 °C, gerando em óxido de cálcio (CaO) e gás carbônico (CO₂) (RIBEIRO, PINTO e STARLING, 2015).

Além disso, o processo de calcinação em uma fábrica de cimento corresponde a cerca de 69% das emissões de CO₂ enquanto os combustíveis utilizados para o transporte do material correspondem a 31%. A produção de matéria prima é uma das etapas que antecedem a produção do concreto e existem outras além do cimento como agregados e misturas, mas que não provocam tanto impacto quanto o primeiro. Por isso, o cimento é o material que mais preocupa em relação as emissões de CO₂ e mais contribui para o potencial de aquecimento global (SJUNNESSON, 2005).

Desde a extração do minério de ferro até a produção do aço na indústria, há contribuição significativa para a degradação do meio ambiente. Na primeira etapa há uma grande transformação do ecossistema, uma vez que áreas ocupadas para a instalação, transporte e extração do minério são extremamente extensas, proporcionando devastação do solo, da mata, degradação dos habitats dos

animais e transformação do relevo natural daquela área, podendo até influenciar as mudanças climáticas na região. Isso pode ser observado nos impactos da categoria qualidade do ecossistema:

- ecotoxicidade aquática: aço (67,1% para Ponte 1; 69,7% para Ponte 2; 64,8% para Ponte 3; 71,1% para Ponte 4) e cimento (20,6% para Ponte 1; 18,8% para Ponte 2; 22,2% para Ponte 3; 18,1% para Ponte 4);
- ocupação do solo, biodiversidade: aço (54,3% para Ponte 1; 57,3% para Ponte 2; 51,9% para Ponte 3; 58,9% para Ponte 4) e cimento (25,0% para Ponte 1; 23,2% para Ponte 2; 26,6% para Ponte 3; 22,5% para Ponte 4);
- escassez de água: aço (51,5% para Ponte 1; 54,4% para Ponte 2; 49,1% para Ponte 3; 56,1% para Ponte 4) e cimento (17,3% para Ponte 1; 16,0% para Ponte 2; 18,3% para Ponte 3; 15,6% para Ponte 4).

Comparando-se os impactos do aço com os do cimento, os fatores transformação do solo, biodiversidade e utilização de recursos minerais apresentaram uma faixa de valores próximos, para as quatro pontes investigadas.

5. CONCLUSÃO

Tendo em vista os resultados aqui apresentados, pode-se afirmar que tanto o concreto quanto o aço causam impactos ambientais significativos devido ao processo de produção de ambos.

Analisando-se o concreto, o seu impacto ambiental é maior na fase de produção do cimento. Durante a fabricação do cimento há a produção do clínquer, principal componente do cimento Portland, que, por sua vez, é o principal insumo para a fabricação do concreto. Em sua produção o cimento contribui com uma taxa de 5–8% do total das emissões globais de CO₂ (PILLAI et al., 2019).

Em dez dos dezoito fatores de impactos elegidos para a ACV desta pesquisa, o processo de produção do aço apresentou valores superiores aos determinados para o concreto. Seu impacto ambiental é destacado nas categorias saúde humana e consumo de energia. Na categoria qualidade do ecossistema ele apresentou índices maiores para quatro dos sete impactos considerados. Na categoria aquecimento global (emissões) o concreto é o principal contribuinte para a degradação ambiental. Assim, o aço se mostrou, nesta pesquisa, o material que mais causa impacto ambiental na construção de pontes.

A metodologia utilizada para a ACV de ambos os materiais, concreto e aço, utilizados em pontes de concreto armado, demonstrou-se adequada e eficaz para avaliação de impactos ambientais das construções. Pode-se citar como desafio a utilização da base de dados da Ecoinvent que, por ser uma base estrangeira, há necessidade de busca cuidadosa pelos materiais equivalentes aos especificados no projeto.

No Brasil, existe o Banco Nacional de Inventários do Ciclo de Vida (SICV Brasil), que leva em conta as características dos materiais encontrados e produzidos em território nacional. Desenvolvido pelo Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (Ibict), é a maior contribuição para a ACV no Brasil, porém, essa base de dados é limitada, haja vista a pequena quantidade de fluxos fornecida na base. Por isso, os bancos de dados europeus, que são mais completos e ricos em informações têm sido mais utilizados.

Quanto à diferença na extensão das pontes, observou-se uma tendência linear no crescimento dos valores dos impactos, ou seja, quanto maior a extensão, maior o peso (kg) e o volume (m³) do concreto consumidos, e por consequência, o impacto ambiental, como já se esperava.

Como proposta para estudos futuros, sugere-se a avaliação completa para as OAE, ou seja, considerando-as do berço ao túmulo, uma vez que, no Brasil, essas obras são comumente projetadas para uma vida útil de cem anos. Além disso, destaca-se, também, a necessidade de avaliação considerando os aspectos econômicos, como bem sugerem os autores Marinkovic, Carevic e Dragaš (2021).

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040: **Gestão ambiental: Avaliação do ciclo de vida: Princípios e estrutura**. Rio de Janeiro, 2009a. 30 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14044: **Gestão ambiental: Avaliação do ciclo de vida: Requisitos e orientações**. Rio de Janeiro, 2009b. 52 p.

BARE, J.C. et al. Midpoints versus endpoints: The sacrifices and benefits. **Int. J. LCA** v. 5, n. 319, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02978665>

BRASIL. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil**. 5. ed. Brasília:

Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, 2020. 107 p. ISBN 978-85-88063-91-4

BULLE, C. et al. IMPACT world+: a globally regionalized life cycle impact assessment method. **Springer Science and Business Media LLC**, v. 24, n. 9, p. 1653-1674, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01583-0>

CHEN, Shilun; DUFFIELD, Colin; MIRAMINI, Saeed; RAJA, Babar Nasim Khan; ZHANG, Lihai. Life-cycle modelling of concrete cracking and reinforcement corrosion in concrete bridges: A case study. **Engineering Structures**, v. 237, p. 1-11, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112143>

DU, G. **Life cycle assessment of bridges, model development and case studies**. 2015. 36 p. Tese (Tese de Doutorado) — Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Stockholm, Sweden, 2015

GREENDELTA. OpenLCA. 2022. Disponível em: <https://www.openlca.org/open-source>

ISLAM, H.; JOLLANDS, M.; SETUNGE, S. Life cycle assessment and life cycle cost implication of residential buildings - a review. **Elsevier BV**, v. 42, p. 129-140, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.006>

JORDAN, M. et al. Global ABC Roadmap for Buildings and Construction. **Paris and Nairobi: International Energy Agency and United Nations Environment Programme**, 2020. Disponível em: https://globalabc.org/sites/default/files/inline-files/GlobalABC_Roadmap_for_Buildings_and_Construction_2020-2050_3.pdf. Acesso em: 5 dez. 2022.

MARINKOVIC, Snežana; CAREVIC, Vedran; DRAGAŠ, Jelena. The role of service life in Life Cycle Assessment of concrete structures. **Journal of Cleaner Production**, v. 290, p. 1-15, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125610>

MATTHEWS, H. S.; HENDRICKSON, C. T.; MATTHEWS, D. H. **Life cycle assessment: Quantitative approaches for decisions that matter**, 2015. Disponível em: <http://lcatextbook.com>. Acesso em: 5 dez. 2022.

MOURAD, A. L.; GARCIA, E. E. C.; VILHENA, A. **Avaliação do Ciclo de Vida: Princípios e Aplicações**. Campinas: CETEA/CEMPRE, 92p. 2002.

PILLAI, Radhakrishna G.; GETTU, Ravindra; SANTHANAM, Manu; RENGARAJU, SriPriya; DHANDAPANI, Yuvaraj; RATHNARAJAN, Sundar; BASAVARAJ, Anusha S. Service life and life cycle assessment of reinforced concrete systems with limestone calcined clay cement (LC3). **Cement and Concrete Research**, v. 118, p. 111-119, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.11.019>oadFile&recordId=4468239&fileId=4469176. Acesso em: 3 jan. 2023.

PRADHAN, Subhasis; POH, Anthony Chang Boon; QIAN, Shunzhi. Impact of service life and system boundaries on life cycle assessment of sustainable concrete mixes. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 342, p. 1-11, 2022. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130847>.

RIBEIRO, C. C.; PINTO, J. D. S.; STARLING, T. **Materiais de Construção Civil**. 4ª ed. Belo Horizonte: [S.l.: s.n.], 2015. 33-53 p.

SJUNNESSON, J. **Life Cycle Assessment of Concrete**. 2005. 61 p. Tese (Thesis) — Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Gerdagatan, 2005.

UNITED NATIONS ORGANIZATION. Launched: 2020 **Global Status Report for Buildings and Construction**. 2020. Disponível em: <https://globalabc.org/news/launched-2020-global-status-report-buildings-and-construction>. Acesso em: 3 jan. 2023.

VERONES, Francesca et al. LCIA framework and cross-cutting issues guidance within the UNEPSETAC Life Cycle Initiative. **Journal of Cleaner Production**, v. 161, p. 957-967, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.206>

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Ecoinvent pela concessão da licença para acesso às bases de dados internacionais.

AUTORES

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2865-8782>

GLÁCIA NOLASCO DE ALMEIDA MELLO, Dra. | Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais| Engenharia Civil | Belo Horizonte, MG - Brasil | Correspondência para: R. Dom José Gaspar, 500 Prédio 3 - Sala 102, Coração Eucarístico, Belo Horizonte, Mg - Cep 30535-901 | E-mail: gnamello@pucminas.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5326-2536>

LUCAS LOPES DE CARVALHO PENA, Eng. Civil. | Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais| Engenharia Civil | Belo Horizonte, MG - Brasil | Correspondência para: R. Dom José Gaspar, 500 Prédio 3 - Sala 102, Coração Eucarístico, Belo Horizonte, Mg - Cep 30535-901 | E-mail: llcpena@sga.pucminas.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2374-4451>

LEONARDO MINDÉLLO MUSCHIONI, Eng. Civil. | Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais| Engenharia Civil | Belo Horizonte, MG - Brasil | Correspondência para: R. Dom José Gaspar, 500 Prédio 3 - Sala 102, Coração Eucarístico, Belo Horizonte, Mg - Cep 30535-901 | E-mail: leonardo.muschioni@sga.pucminas.br

COMO CITAR ESTE ARTIGO

MELLO, Gláucia Nolasco de Almeida; PENA, Lucas Lopes de Carvalho; MUSCHIONI, Leonardo Mindéll. **Avaliação do Impacto Ambiental Causado por Concreto Armado Utilizado em Pontes**. MIX Sustentável, v. 9, n. 3, p. 17-32, 2023. ISSN 2447-3073. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: [_/_/_](https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n3.17-32). doi: <<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n3.17-32>>.

SUBMETIDO EM: 18/01/2023

ACEITO EM: 02/04/2023

PUBLICADO EM: 30/07/2023

EDITORES RESPONSÁVEIS: Flávio Gabriel da Silva Craveiro e Lisiane Ilha Librelotto.

Registro da contribuição de autoria:

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

GNAM: Conceituação, Curadoria de dados, Análise formal, Investigação, Metodologia, Administração do projeto, Supervisão, Validação, Visualização, Escrita, Escrita - revisão e edição

LLCP: Curadoria de dados, Análise formal, Investigação,
Validação, Visualização, Escrita, Escrita - revisão e edição
LMM: Curadoria de dados, Análise formal, Investigação,
Validação, Escrita

Declaração de conflito: nada foi declarado.

DISCLOSURE DOS CUSTOS AMBIENTAIS: ANÁLISE DAS EMPRESAS DE ENERGIA ELÉTRICA LISTADAS NO ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE EMPRESARIAL (ISE)

DISCLOSURE OF ENVIRONMENTAL COSTS: ANALYSIS OF ELECTRIC ENERGY COMPANIES LISTED IN THE CORPORATE SUSTAINABILITY INDEX (ISE)

DIVULGACIÓN DE COSTOS AMBIENTALES: ANÁLISIS DE EMPRESAS ELÉCTRICAS LISTADAS EN EL ÍNDICE DE SOSTENIBILIDAD EMPRESARIAL (ISE)

FRANCIELI BINOTTI, Me. | UNIOESTE - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil
DAIANE ALINE TOMAZ SOBCZUK, Me. | UNIOESTE - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil
ANDREA PAEZE, Me. | UNIOESTE - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil
GEYSLER ROGIS FLOR BERTOLINI, Dr. | UNIOESTE - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil

RESUMO

O estudo teve como objetivo identificar a evolução ocorrida no Disclosure dos custos ambientais das empresas do setor de energia elétrica listadas no ISE (Índice de Sustentabilidade Empresarial) da B3 (Bolsa de Valores de São Paulo). A pesquisa caracteriza-se como descritiva, com abordagem quantitativa dos dados, realizada por meio de pesquisa documental, aplicando análise de conteúdo. A amostra constitui-se de dados analisados nos relatórios de administração, sustentabilidade e balanço social das empresas que compõem o ISE de 2015 a 2019. Os resultados demonstram que houve um aumento de 6% no número de sentenças divulgadas do ano de 2019 em relação ao ano de 2015. Constatou-se a importância de existir um Disclosure ambiental padronizado, para melhor qualidade das informações evidenciadas. Conclui-se que algumas informações sobre custos ambientais que venham a favorecer a responsabilidade da companhia com o meio ambiente são mais evidenciadas, e que muitos desembolsos que a empresa faz para minimizar seus impactos ao meio ambiente, não são tratados como custos.

PALAVRAS-CHAVE

Custos Ambientais; disclosure; ISE

ABSTRACT

The study aimed to identify the evolution that occurred in the Disclosure of environmental costs of companies in the electric energy sector listed in the ISE (Corporate Sustainability Index) of B3 (São Paulo Stock Exchange). The research is characterized as descriptive, with a quantitative approach to the data, carried out through documentary research, applying content analysis. The sample consists of data analyzed in the management, sustainability and social balance reports of the companies that make up the ISE from 2015 to 2019. The results show that there was an increase of 6% in the number of sentences released in the year 2019 in relation to the year 2015. It was verified the importance of having a standardized environmental Disclosure, for better quality of the evidenced information. It is concluded that some information about environmental costs that will favor the company's responsibility towards the environment are more evident, and that many disbursements that the company makes to minimize its impacts on the environment, are not treated as costs.



KEYWORDS

Environmental costs; disclosure; ISE.

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo identificar la evolución que ocurrió en la Divulgación de costos ambientales de las empresas del sector eléctrico que cotizan en el ISE (Índice de Sustentabilidad Empresarial) de B3 (Bolsa de Valores de São Paulo). La investigación se caracteriza por ser descriptiva, con abordaje cuantitativo de los datos, realizada a través de una investigación documental, aplicando análisis de contenido. La muestra se compone de datos analizados en los informes de gestión, sustentabilidad y balance social de las empresas que integran el ISE de 2015 a 2019. Los resultados muestran que hubo un aumento del 6% en el número de sentencias divulgadas en el año 2019 en comparación con año 2015. Se verificó la importancia de contar con una Divulgación Ambiental estandarizada, para una mejor calidad de la información evidenciada. Se concluye que algunos datos sobre costos ambientales que pueden favorecer la responsabilidad de la empresa con el medio ambiente son más evidentes y que muchos de los desembolsos que realiza la empresa para minimizar sus impactos en el medio ambiente no son tratados como costos.

PALABRAS CLAVE

Costos Ambientales; divulgación; ISE

1 INTRODUÇÃO

A discussão sobre o meio ambiente vem ganhando maior perceptividade, devido à grande busca de empresas por recursos naturais, visando maior índice de lucratividade (LOPES; SOUSA; PACE, 2015; LUBIS; SHAHRI; RAMIREZ, 2022). Mas isto tem feito com que as empresas degradassem significativamente o meio ambiente, muitas delas estão procurando meios de recuperar as áreas afetadas, além de buscar criar, nos próprios cidadãos uma conscientização de uso e preservação. Com este interesse relevante sobre as questões de impactos ambientais, é evidente que isto reflita no mercado em que atua. Esta perspectiva exigida no ambiente empresarial promove de forma simultânea a responsabilidade social, reduzindo o uso de recursos naturais, diminuindo os impactos negativos sobre o meio ambiente (ROMANZINI et al., 2019).

A publicação das informações ambientais tem como propósito, reconhecer, medir e compreender os acontecimentos de transações econômico-financeiras que se relacionam com a proteção, preservação, e recuperação ambiental, ocorridos em um determinado período, a fim de evidenciar o cenário patrimonial da empresa (RIBEIRO, 2010).

Ao evidenciar as informações ambientais, nas demonstrações contábeis, a empresa pode utilizá-las para construção de indicadores para auxiliar a projeção de cenários que possam vir a ocorrer (BESEN et al., 2018). Estas demonstrações devem visar evidenciar informações contábeis, econômicas, sociais e ambientais, de forma transparente, explicando suas responsabilidades sociais e corporativas.

Visando estimular a responsabilidade ética das corporações e comparar o desempenho das empresas sob a visão da sustentabilidade corporativa, a Brasil, Bolsa e Balcão (B3) criou o Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE). O ISE tem como objetivo apoiar os investidores na tomada de decisão de investimento e induzir as empresas a adotarem as melhores práticas de sustentabilidade, uma vez que essas práticas contribuem para a perenidade dos negócios (BRASIL, BOLSA E BALCÃO [B3], 2020). As empresas participantes do ISE buscam legitimar suas ações, adotando práticas para obter vantagens competitivas melhorando o desempenho de seus mercados ecológicos além de aprimorar a própria imagem perante a comunidade (SOUZA et al., 2019).

Os estudos que abordam a evidenciação de custos e informações ambientais apresentaram objetivos semelhantes, como no caso de Braga, Oliveira e Salotti (2009);

Leite, Ribeiro e Pacheco (2007). Sales, Rover e Silva Ferreira (2018), analisaram os critérios de política, gestão, desempenho e cumprimento legal das empresas listadas na bolsa e no ISE. Já Tuyen, Tien e Huong (2019) verificaram as informações ambientais de empresas listadas no mercado de ações do Vietnã.

Verifica-se que pesquisas com essa temática foram realizadas focadas em diferentes segmentos de empresas como o caso de Gomes et al. (2019) pesquisaram as empresas do setor químicos da B3. Já, Fonseca et al. (2016) pesquisaram sobre a evolução da evidenciação dos custos ambientais das empresas do setor de papel e celulose integrantes do ISE. Outro estudo, foi realizado por Silva et al. (2015) que analisou as empresas inseridas nos setores de alto impacto ambiental. As empresas do segmento de energia elétrica foram analisadas nos estudos de Anzilago et al. (2017); Da Costa, Voese e Rosa (2009); Gubiani, Santos e Beuren (2013); Silva et al. (2014), que buscaram analisar a divulgação dos custos ambientais. E também, Slacik e Greiling (2020) analisaram empresas do segmento de energia elétrica, mas, em empresas da Áustria.

Em vista dos estudos anteriores que analisaram a evidenciação dos custos ambientais das empresas do setor de energia elétrica, e levando em consideração a necessidade de avaliar se existe evolução da evidenciação de informações de cunho ambiental nessas empresas, o problema de pesquisa que norteia o estudo é: Qual é a evolução ocorrida no disclosure dos custos ambientais das empresas do setor de energia elétrica listadas no ISE da B3?

Devido a importância da evidenciação ambiental para a sociedade, visto a grande preocupação com a sustentabilidade, preservação ambiental com foco na redução dos impactos causados pelas atividades humanas ao ambiente, esta pesquisa procura elucidar os interesses sobre os custos ambientais, verificado se as empresas estão divulgando informações nos seus relatórios. A pesquisa contribui na identificação da responsabilidade social das empresas no aspecto ambiental e a sua sustentabilidade como agente econômico.

2. CUSTOS AMBIENTAIS E EVIDENCIAÇÃO DE CUSTOS

As questões ambientais das organizações apresentam uma estreita relação entre custos ambientais e despesas ambientais. Custos ambientais não se trata de uma novidade conceitual, mas sim, um novo enfoque no âmbito da contabilidade que se referem aos gastos realizados na neutralização e prevenção de impactos ambientais

inerentes do processo produtivo das organizações (FONSECA et al., 2016).

De forma pragmática, Jasch (2003) alega que estes custos englobam todos os dispêndios empregados na redução, prevenção e/ou controles conexos às medidas de proteção ao meio ambiente. Estes são elencados como investimentos, passivos, despesas, custos e receitas ambientais (SILVA et al., 2014).

Para uma pequena parcela das organizações, os custos ambientais também podem incluir os impactos ambientais e sociais causados pela organização a outras entidades através de suas operações. Estas externalidades normalmente se referem a custos sociais, ou seja, aqueles impostos aos indivíduos, a sociedade e ao ambiente pelo qual a organização não está diretamente ligada. As organizações na sua maioria restringem suas ações aos custos privados, que são aqueles em que a entidade é responsabilizada e que pode afetar de forma significativa os resultados financeiros das organizações (AROWOSHEGBE; EMMANUEL, 2016).

Os procedimentos que as empresas devem seguir para evidenciação destas informações de natureza social e ambiental em suas demonstrações contábeis, foram atribuídas pelo Conselho Federal de Contabilidade (CFC), através da aprovação da Norma Brasileira de Contabilidade Técnica NBC T 15, que estabelece que essas demonstrações devem ser apresentadas como informações complementares às demonstrações contábeis, e não devem ser confundidas com as notas explicativas, devendo ainda serem apresentadas, para efeito de comparação, com as informações do exercício atual e do exercício anterior (CONSELHO FEDERAL DE CONTABILIDADE [CFC], 2020).

Sendo assim, Leite et al. (2007) verificaram que as empresas estão divulgando informações sobre o passivo ambiental e interações deste com o meio ambiente, procurando destacar no relatório de administração, mais do que nas notas explicativas, as informações relacionadas com o meio ambiente, demonstrando maior preocupação com o assunto, mas ainda assim, não há evidenciação dessas interações, assim como de passivos ambientais de forma clara.

É importante ressaltar que o nível de evidenciação de informações ambientais torna-se uma referência, a partir do momento que permite que o mercado faça uma avaliação mais detalhada da empresa (ZHONGFU; JIANHUI; PINGLIN, 2011). A busca por relatórios mais transparentes e que privilegiam abordagens mais qualitativas vem sendo difundido por empresas que buscam oferecer aos investidores melhores condições para análise comparativa

das oportunidades de investimentos disponíveis no mercado (ARAGÃO; CAVALCANTE, 2014).

Mesmo com a disparidade na divulgação das informações Gubiani et al. (2013) ao verificarem o nível de disclosure das informações nos relatórios concluíram com base nas 11 empresas selecionadas que há uma evidenciação de forma satisfatória das categorias de políticas ambientais, de educação e de pesquisa ambiental, mas elas não seguem o princípio do full disclosure que compreende a divulgação plena das informações dos custos ambientais, o que torna mais visível a evidenciação destes aos interessados.

Há hipótese de que o tamanho da organização seja um dos fatores de influência sobre a quantidade de informações ambientais divulgadas, mas Silva et al. (2015), investigando os determinantes que influenciam as divulgações ambientais nos relatórios anuais das empresas listadas na bolsa de valores, notaram que o fato das empresas serem maiores ou terem uma rentabilidade mais alta não influencia no aumento da quantidade de informações ambientais divulgadas. Outro ponto levantado por eles é que as empresas que são auditadas pela Big Four tendem a fazer mais divulgações ambientais nos seus relatórios anuais do que as empresas privadas não auditadas, ou seja, quando há o envolvimento de auditoria há também uma maior preocupação com a divulgação das informações ambientais.

Braga et al. (2009) revelam em suas pesquisas que cerca de 82,85%, das informações ambientais são encontradas em relatórios de administração que não passaram pela avaliação de auditores externos, sendo que grande maioria atribui crédito a imagem da empresa perante investidores e não a confiabilidade.

Isto também pode ser notado quando comparamos empresas listadas em índices da bolsa, como é o caso apresentado por Santos, Gomes e Almeida (2015) que ao comparar a evidenciação ambiental das entidades que compõem os índices ISE, ICO2 e IBOVESPA, constataram que todas as variáveis apresentaram associação com a evidenciação de informações ambientais. Mas, sendo as empresas do ISE, as que mais divulgaram informações ambientais, o que pode apontar para a eficácia do indicador como motivador da evidenciação ambiental ou mesmo como um expositor daquelas entidades que melhor apresentam suas práticas de sustentabilidade e responsabilidade social. Assim, pode-se considerar que as empresas associadas aos índices de sustentabilidade são as que mais divulgam seus dados ambientais.

Quando a empresa está listada em algum índice da

bolsa a tendência é haver uma divulgação continua das suas informações para se manter dentro do mesmo, desta forma elas tendem a evoluir a evidenciação das informações a cada ano para atender aos requisitos, como foi notado por Fonseca et al. (2016) que ao avaliarem a evolução da divulgação destes dados no setor de papel e celulose listadas no ISE, notaram uma evolução em relação a estudos anteriores tanto na qualidade como na quantidade de evidenciação dos custos ambientais.

A estrutura de divulgação das informações ambientais é outro ponto importante a ser analisado nos relatórios, Anzilago et al. (2017) ao estudarem a estrutura de divulgação dos custos ambientais mensurados pelo Relatório de Sustentabilidade em 2014 apontaram que as informações sobre os aspectos ambientais estão sendo divulgados, porém de forma limitada e descritiva nos relatórios de sustentabilidade, deste modo entende-se que isto pode estar relacionado a dificuldade de mensuração dos custos de reparação ao meio ambiente e não uma negação por parte da empresa em reconhecê-los. Esta pode ser uma das explicações para as empresas não divulgarem com riqueza de detalhes estas informações em seus relatórios ao longo destes anos.

Outros autores como Silva e Felix Júnior (2017) também buscaram em seus estudos analisar de forma comparativa o nível de divulgação acerca de informações ambientais dos setores de empresas listadas na bolsa de valores, onde identificaram que a diferenças nos níveis de disclosure ambiental existentes entre as empresas e seus setores produtivos, havendo uma tendência de crescimento nas publicações referentes aos dados ambientais. O setor de saneamento, água e gás foram os que tiveram maior nível de divulgação das informações ambientais. Existe uma grande variação entre os índices de publicações por empresa, bem como uma maior tendência de divulgação entre certas categorias em analogia a setores que apresentam uma predisposição em publicar maior número de informações.

Para Sales et al. (2018) as empresas não apresentam divergências de opinião quando o assunto é compromisso, abrangência e divulgação das informações ambientais, mas já no aspecto do cumprimento legal nota-se que há uma variabilidade nos resultados, considerando que as empresas tendem a não divulgar suas ações de penalidades nos relatórios, mas no que diz respeito às ações ambientais, praticamente todas as empresas levantaram a hipótese de que elas querem passar sim uma boa imagem para a sociedade e para os investidores, e que nos últimos anos as informações nos relatórios têm melhorado

gradativamente sendo importante para a compreensão das partes interessadas. Nota-se enfim, maior compromisso em divulgar estas informações aos investidores e demais envolvidos, partindo da empresa a iniciativa de evidenciar com mais clareza estes dados ambientais.

Alguns setores tendem a divulgar seus custos e dados ambientais com mais clareza, segundo Gomes et al. (2019) que buscaram a evidenciação dos custos e investimentos ambientais em empresas do setor químico da B3, 70% das empresas evidenciavam de forma clara os custos ambientais e investimentos, tendo como categoria mais evidenciada os custos com contingências, seguida de projetos, preservação e proteção ambiental. Outro ponto que pode ser notado é que as empresas evidenciam essas informações de forma quantitativa, ou seja, monetária. De forma geral um ponto que faz com as empresas divulgue menos é a falta de padronização das informações encontradas o que dificulta a comparabilidade dessas informações entre as empresas.

Mas a dificuldade de evidenciar as informações ambientais não é um problema somente das empresas brasileiras, Tuyen et al. (2019) investigaram e avaliaram o nível de divulgação das informações ambientais de 170 empresas listadas no mercado de ações do Vietnã o Hanoi Exchange (HNX) e a Ho Chi Minh City Stock Exchange (HOSE) e notaram que mesmo o governo cobrando das empresas para que sejam responsáveis ao divulgar estas informações, financeiras ou não sobre o meio ambiente, para atender as exigências do governo, o nível de empresas que fazem a divulgação com clareza é ainda muito baixo, um exemplo são as empresas de eletricidade, petróleo, gás e produtos químicos e de saúde que concentram em seus relatórios informações de dívida ambiental, quantidade de recursos consumidos, número de violações ambientais dentre outros e não informam de forma detalhada os custos ambientais.

Slacik e Greiling (2020) também notaram esta disparidade em empresas que divulgam o relatório GRI-G4 de concessionárias de energia elétrica (EUC) da Áustria, listadas e não listadas, onde a cobertura de indicadores de divulgação das informações ambientais para as empresas listadas ofertam ao governo e a investidores maiores informações ambientais e de indicadores financeiros nos seus relatórios de sustentabilidade do que as empresas do EUC público e não listado. Ressalta-se que as empresas listadas possuem maior compromisso com a divulgação das informações ambientais nos seus relatórios.

A adesão da sociedade por reduzir impactos ambientais tem estabelecido ao âmbito empresarial uma

adequação de exigências legais. Mas ainda muitas empresas, como é o caso do setor de siderurgia e metalurgia onde apenas 60% evidenciam as informações referentes a custos e investimentos ambientais em seus relatórios, deixam a desejar, pois ainda está longe de atingirem patamares satisfatórios de divulgação (ASSUNÇÃO et al., 2020).

2.1. Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE)

O Índice Brasileiro de Sustentabilidade Empresarial é um índice que acompanha as dimensões econômicas, ambientais, políticas, sociais e corporativas das principais organizações listadas na B3. Este índice foi lançado em 2005 com intuito de fornecer aos gestores de ativos e potenciais investidores um material confiável das melhores práticas de sustentabilidade corporativas do país (CHING; TOSTE; TARDELLI, 2016).

Na maioria das bolsas de valores as práticas de divulgação ambiental, que compreende ao compartilhamento de informações ambientais de desempenho, como emissão de poluentes e consumo de recursos naturais são muito bem-vindas pelos investidores, mas são ações voluntárias que não são exigidas por lei, mas quando feitas são muito úteis às partes interessadas (DAWKINS; FRAAS, 2011).

Para que a sociedade possa tomar conhecimento dos investimentos e ações ambientais, praticados por empresas participante do ISE, visto que suas ações refletem no mercado de atuação e na imagem da organização, Da Costa et al. (2009) apresentou uma importante contribuição em seu estudo de custos e investimentos praticados por empresas do setor de energia elétrica que exercem em suas atividades ações que podem gerar impactos ambientais, identificando que praticamente todas as empresas do setor de energia elétrica classificadas no ISE, possuem em sua missão o compromisso com a sustentabilidade e o bem estar da sociedade e estão informando os custos e investimentos ambientais, quanto está sendo gasto com manejo da flora, licenciamento ambiental, manejo pesqueiro, educação ambiental, gerenciamento dos resíduos, reciclagem do óleo, pesquisa de desenvolvimento e sistemas de gestão ambiental, demonstrando preocupação e transparência com seus clientes e investidores.

Vale ressaltar que em termos de divulgação dos dados ambientais, há um sério problema de assimetria de informações entre as empresas listadas e as partes interessadas nestes dados. Quanto maior for o nível de assimetria de informação, maior será o prêmio de risco medido pelos credores e maior será o custo do financiamento da

dívida corporativa (LUO et al., 2019). Evidenciar os custos ambientais de forma clara nos relatórios ainda não é uma obrigatoriedade por este motivo há muita desconfiança se realmente está sendo divulgado dados fidedignos, mas acreditasse que as empresas prezem pelas boas informações aos seus investidores.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este estudo tem caráter descritivo e foi realizado por meio de pesquisa documental com abordagem quantitativa. De acordo com Creswell (2007) foi realizada uma pesquisa na literatura já existente, pois além de ajudar a substanciar o problema, também sugere possíveis questões ou hipóteses que precisam ser abordadas, sendo a melhor técnica a ser usada para testar uma teoria ou explicação.

A pesquisa é documental, pois faz uso dos relatórios da administração, relatório de sustentabilidade e balanço social do período de 2015 a 2019 das empresas investigadas como fontes de dados para análise, sendo este considerado um material ainda não editado. A abordagem quantitativa foi aplicada pois buscou empregar instrumentos estatísticos na análise das informações associadas aos custos ambientais.

Classifica-se também como bibliográfica, devido a utilização de materiais já elaborados como livros e pesquisas científicas relacionados ao tema deste estudo. Segundo Creswell (2007, p.46) um dos objetivos da revisão da bibliografia é "fornecer uma estrutura para constituir a importância do estudo e um indicador para confrontar os resultados de um estudo com outros resultados."

3.1. Objeto do estudo

Para este estudo, foram selecionadas as empresas do segmento de energia elétrica, participantes da décima quinta carteira do ISE, eleitas em 29 de novembro de 2019, com vigência em 06 de janeiro de 2020 até 01 de janeiro de 2021. Selecionou-se as empresas do ISE, uma vez que estudos anteriores revelam que há maior nível de evidência ambiental por parte dessas empresas, como o caso de Santos et al. (2015).

Faz parte deste índice as 30 companhias da carteira teórica anual de janeiro de 2020 a janeiro de 2021, sendo que 7 delas são do setor de energia elétrica. O setor de energia elétrica é o mais representativo em número de empresas, por isso optou-se por esta amostra, a fim de atribuir relevância na comparabilidade entre as

organizações analisadas. O Quadro 1 apresenta o nome das companhias e seu nível de governança corporativa.

Empresa	Nível de Governança Corporativa
Aes Tietê	Nível 2
Cemig	Nível 1
Copel	Nível 1
EDP	Novo Mercado
Eletrobrás	Nível 1
Engie	Novo Mercado
Light	Novo Mercado

Quadro 01: Companhias da pesquisa.

Fonte: dos autores.

3.2. Coleta de dados

Para analisar os custos ambientais, foi utilizada a análise de conteúdo nos relatórios de administração (RA), relatórios de sustentabilidade (RS) e o balanço Social (BS). A escolha pelo relatório da administração decorre do fato de que todas as empresas são obrigadas a elaborá-lo para fins de divulgação, já o relatório de sustentabilidade e Balanço Social não são obrigatórios, mas detém muitas informações de cunho ambiental, sendo de grande importância incluí-las na análise.

O período escolhido foi dos últimos cinco anos, ou seja, de 2015 a 2019, para investigar a existência de padrão ou tendência entre as empresas. Os relatórios de administração, sustentabilidade e balanço social foram retirados do site da B3 e site da própria companhia.

Instrumento da pesquisa

Na técnica de análise de dados, foram analisadas as informações sobre custos ambientais publicados no site

da B3, relativos aos exercícios de 2015 a 2019 publicadas pelas companhias. Nesta pesquisa, considerou-se quatro categorias e as nove subcategorias conforme modelo proposto no estudo de Rover, Borba e Borgert (2008). Para classificação das informações, realizou-se sua evidencição de acordo com o modelo apresentado no Quadro 2, possibilitando o constructo teórico para o levantamento dos custos ambientais.

Para verificar a evolução da evidencição dos custos ambientais, foi empregado a metodologia do índice de disclosure, a fim de analisar se os itens do instrumento de coleta de dados foram evidenciados ou não nos relatórios investigados. De acordo com Malaquias e Lemes (2013), para cada subcategoria que deveria ser evidenciada, fornece-se uma determinada pontuação, que com o seu somatório obtém-se um score, que é dividido pela pontuação máxima resultando no índice de disclosure. Com a utilização desta metodologia, as informações divulgadas pelas companhias que são de cunho qualitativo, são modificadas em uma variável quantitativa, com isso tem-se o índice de disclosure em forma de percentual, sendo possível o seu relacionamento com outras variáveis (MALAQUIAS; LEMES 2013).

Cada subcategoria do modelo considerou-se o peso 1 para o cálculo do índice de disclosure, sendo que foi considerado 0 quando a categoria não foi evidenciada, 1 quando evidenciada. Também ocorreu que a mesma subcategoria foi evidenciada por mais de uma vez, mas em relatórios distintos, neste caso, foi considerado 1 ponto para cada informação da mesma subcategoria evidenciada pela empresa. Portanto, poderá ocorrer que uma empresa

Categoria e Subcategorias dos custos ambientais
1 - Custos ambientais para controlar ocorrência de impactos ambientais:
1 - Custos de prevenção de poluição (ar, água e solo)
2 - Custos de conservação global ambiental
3 - Custos para gestão de resíduos
2 - Custos de conservação em atividades de pesquisa e desenvolvimento:
4 - Custos com pesquisa e desenvolvimento ou custos para planejar impactos ambientais de produtos
3 - Custos ambientais em atividades sociais.
5 - Custos para proteção da natureza, reflorestamento, embelezamento e melhorias para o meio ambiente
6 - Custos para distribuição de informações ambientais
7 - Custos para contribuição e apoio de grupos ambientais
4 - Custos correspondentes a danos ambientais.
8 - Custos com recuperação de contaminação ambiental
9 - Custos com indenizações e penalidades ambientais

Quadro 02 - Construto teórico para o levantamento dos custos ambientais.

Fonte: Adaptado de "Como as empresas classificadas no índice de sustentabilidade empresarial (ISE) evidenciam os custos e investimentos ambientais?" Por Rover e Borba, 2008, Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC.

apresente o índice de disclosure máximo, mas não teve evidênciação em todas as subcategorias.

4. DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise dos custos ambientais evidenciados pelas sete empresas que compõem o Índice de Sustentabilidade Empresarial do segmento de energia elétrica, realizou-se por meio da categorização elaborado por Rover et al. (2008). Analisando-se as informações sobre custos ambientais mencionadas pelas companhias, identificou-se que nas 4 categorias propostas, houve evidênciação de custos. Na Tabela 1 apresenta-se a quantidade de sentenças evidenciadas em cada subcategoria, por relatório pesquisado no decorrer dos anos.

Tabela 1: Custos ambientais evidenciados por relatório.
 Fonte: dos autores

Ao longo dos cinco anos estudados, foi identificado 178 sentenças referente custos ambientais evidenciados pelas sete empresas, nos 105 relatórios analisados. Na categoria 1 (custos ambientais para controlar ocorrência de impactos ambientais) foram identificadas, no total, 77 sentenças, sendo 27 divulgados no relatório de administração, 48 no relatório de sustentabilidade e 2 no balanço social. Nesta categoria o ano que teve maior número de sentenças foi o ano de 2017 com 19 sentenças, seguido de 2015 e 2019 com 15 sentenças cada.

Para a categoria 2 (custos de conservação em

atividades de pesquisa e desenvolvimento) observou-se que no ano de 2016 teve maior evidênciação (6 sentenças), e do total das 23 sentenças, a maioria está disponíveis nos Relatórios de Sustentabilidade (16 sentenças). Já na categoria 3 (Custos ambientais em atividades sociais), verificou-se a existência de 44 sentenças, sendo que 9 divulgadas no relatório de administração, 23 no relatório de sustentabilidade e 12 no balanço social. O ano de 2018 foi o que mais teve evidênciação nesta categoria, com 13 sentenças, seguido de 2017 e 2019 com 9 sentenças cada.

Os custos referentes a categoria 4 (Custos correspondentes a danos ambientais) totalizaram 34 sentenças, sendo 6 sentenças divulgadas no relatório de administração, 20 no relatório de sustentabilidade e 8 no balanço social. Nos três últimos anos foi divulgado 8 sentenças desta categoria. Foi visto que nos relatórios analisados existe um crescente número de sentenças divulgadas ao decorrer do período analisado conforme demonstrado no Gráfico 1, a evolução da evidênciação dos custos ambientais por relatório analisado.

Gráfico 1: Evolução dos custos ambientais.

Fonte: dos autores

Uma vez que a divulgação dos custos ambientais não é obrigatória, é notável que ao longo dos anos as companhias percebem a sua importância e tornam a sua publicação mais frequente. De acordo com Arowoshegbe e Emmanuel (2016) é importante que dentro das organizações a área financeira esteja atenta a relação de custos ambientais, procurando entender como ocorre durante o

Categorias	Relatório de Administração					Relatório de sustentabilidade					Balanço social				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	5	6	7	8	9	5	6	7	8	9	5	6	7	8	9
1	2	1	1	0	1	4	3	3	3	2	0	0	0	0	0
2	0	0	3	3	3	0	2	6	2	3	0	0	0	0	0
3	2	5	1	2	3	5	1	5	5	4	1	1	0	0	0
4	2	1	0	2	2	3	5	2	3	3	0	0	0	0	0
5	1	2	2	1	2	3	2	4	4	3	0	1	1	1	1
6	0	0	0	0	1	1	0	0	4	0	0	1	1	1	1
7	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1
8	1	1	1	2	0	2	1	5	3	4	0	1	1	1	1
9	0	0	0	0	1	1	2	0	1	1	0	1	1	1	1

Quadro 02 - Construto teórico para o levantamento dos custos ambientais.

Fonte: Adaptado de "Como as empresas classificadas no índice de sustentabilidade empresarial (ISE) evidenciam os custos e investimentos ambientais?" Por Rover e Borba, 2008, Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC.

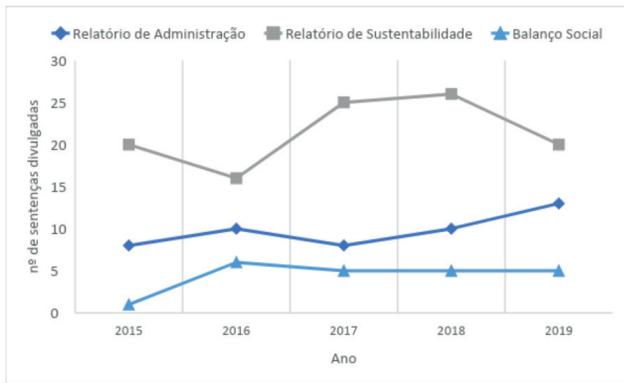


Gráfico 01: Evolução dos custos ambientais.
Fonte: dos autores.

processo para obter uma boa gestão das decisões, sendo essencial traçar metas dentre elas a redução de despesas ambientais, aumentando as receitas, e melhorando o desempenho ambiental, analisando em uma perspectiva do ambiente atual e futuro do potencial dos custos.

A primeira categoria considerada no instrumento de pesquisa, é sobre a evidenciação dos custos ambientais para controlar ocorrência de impactos ambientais, que obteve (tabela 2) o total 77 sentenças divulgadas em suas três subcategorias. As empresas que não apresentaram sentenças em determinado relatório no ano em questão, terá “zero” na referência da tabela

A evidenciação dos custos ambientais para controlar ocorrência de impactos ambientais, e as três subcategorias analisadas tiveram maior evidenciação pela empresa Engie e EDP, sendo que ambas divulgaram sentenças da subcategoria custos para gestão de resíduos em todos os anos analisados, vale destacar que nesta subcategoria as empresas Cemig e Light também apresentaram sentenças em todos os anos, sendo a subcategoria mais

evidenciada. No geral, a empresa que menos evidenciou nesta categoria foi a Aes Tietê destacando somente em seus relatórios no ano de 2017, os custos de prevenção de poluição (ar, água e solo). O ano de 2017 se destacou pela maior quantidade de sentenças evidenciadas, e o ano de 2016 teve menor número, dentre as evidenciações localizadas.

Em 2019, a destinação dos demais resíduos gerou um gasto de cerca de R\$ 164,5 mil. Esses demais resíduos somaram 231,7 toneladas de resíduos, representando decréscimo de 26,5% no valor gasto com suas destinações se comparado com o ano de 2018 (CEMIG, 2019).

Os resultados obtidos convergem com os estudos de Anzilago et al. (2017) que mostrou que as três subcategorias foram divulgadas por todas as empresas que faziam parte do estudo, e também de Silva et al. (2014), que apresentou esta categoria como sendo a mais citada nos relatórios analisados. Nota-se um aumento significativo em relação a divulgação dos custos para gestão de resíduos em comparação ao estudo realizado por Rover et al. (2008) em que se obteve somente uma sentença nesta subcategoria, revelando que as empresas estão mais preocupadas em evidenciar gastos com itens específicos. O aumento da evidenciação, pode ser explicado pela inclusão do Relatório de Sustentabilidade na análise, e também da responsabilidade das empresas com a destinação correta de seus resíduos, promovendo a transparência dos seus impactos ambientais com seus stakeholders. A segunda categoria do modelo é sobre custos de conservação em atividades de pesquisa e desenvolvimento (tabela 3), que possui somente uma subcategoria que se refere aos custos com pesquisa e desenvolvimento ou custos para planejar impactos ambientais de produtos.

Empresas	Custos de prevenção de poluição (ar, água e solo)					Custos de conservação global ambiental					Custos para gestão de resíduos				
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
Aes Tietê	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cemig	1	0	0	0	0	0	0	2	2	2	1	1	2	2	1
Copel	1	0	1	1	0	0	1	2	1	0	1	1	1	1	0
EDP	2	0	1	1	0	0	0	1	1	2	2	1	1	1	2
Eletrobrás	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1
Engie	1	2	1	0	2	0	0	2	0	1	1	2	1	1	2
Light	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	2	1	1	1	1

Tabela 02: Custos ambientais para controlar ocorrência de impactos ambientais.
Fonte: dos autores.

Empresas	2015	2016	2017	2018	2019
Aes Tietê	1	1	0	1	1
Cemig	2	2	0	1	1
Copel	1	1	1	0	1
EDP	1	0	0	2	0
Eletrobrás	0	1	0	1	1
Engie	0	1	1	0	0
Light	0	0	0	0	1

Tabela 03: Custos de conservação em atividades de pesquisa e desenvolvimento.
Fonte: dos autores.

Nesta categoria a empresa que mais divulgou custos com pesquisa e desenvolvimento ou custos para planejar impactos ambientais de produtos foi a Cemig, que somente no ano de 2017 não apresentou sentenças sobre essa subcategoria, e a empresa Light foi a que menos divulgou. O ano de 2016 teve maior número de sentenças, seguido dos anos 2015, 2018 e 2019 que apresentaram a mesma quantidade de sentenças nesta categoria. Um exemplo das informações divulgadas a respeito da Categoria 2, encontra-se no relatório de sustentabilidade da Aes Tiete "Foram gastos com pesquisa e desenvolvimento tecnológico e científico em Meio Ambiente o valor de R\$ 96.680 mil reais" (AES TIETE, 2019).

As informações sobre os custos com pesquisa e desenvolvimento ou custos para planejar impactos ambientais de produtos foram evidenciados em 12 sentenças no estudo de Silva et al. (2014), já na pesquisa de Rover et al. (2008) verificaram somente uma sentença, e Anzilago et al. (2017) constatou que todas as empresas analisadas, divulgaram informações relacionadas a categoria. As ações com finalidade de proteção das atividades de pesquisa e desenvolvimento são realizadas nas empresas, devido a

crescente exigência social com este setor. Entende-se que estas empresas necessitam encontrar soluções e incluir em seus planejamentos e orçamentos montantes necessários para a busca de inovações que reduzam os impactos de suas atividades no meio ambiente.

A evidenciação da categoria dos Custos ambientais em atividades sociais (tabela 4), são divididas em três subcategorias no período analisado, apresentando 34 sentenças divulgadas nos relatórios pesquisados.

Nesta categoria a empresa Eletrobrás teve grande destaque, pois somente no ano de 2015 na subcategoria Custos para proteção da natureza, reflorestamento, embelezamento e melhorias para o meio ambiente não tiveram evidenciação, ou seja, que de 15 possibilidades de evidenciações, 14 foram identificadas. A empresa que menos evidenciou nesta categoria foi a Light destacando somente em seus relatórios no ano de 2018, os custos para distribuição de informações ambientais. A maior divulgação foi observada no ano de 2018 com 13 sentenças, seguido do ano de 2019 e 2017 com 9 sentenças cada, e a menor divulgação foi no ano de 2015 com 6 sentenças. As informações que se enquadra na categoria 3, estão

Empresas	Custos para proteção da natureza, reflorestamento, embelezamento e melhorias para o meio ambiente					Custos para distribuição de informações ambientais					Custos para contribuição e apoio de grupos ambientais				
	2015	2016	2017	2018	2019	2015	2016	2017	2018	2019	2015	2016	2017	2018	2019
	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	5	6	7	8	9	5	6	7	8	9	5	6	7	8	9
Aes Tietê	1	1	1	1	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Cemig	1	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Copel	2	1	2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
EDP	0	1	1	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Eletrobrás	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Engie	0	1	2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Light	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Tabela 04: Custos ambientais em atividades sociais.
Fonte: dos autores.

Empresas	Custos correspondentes a danos ambientais					Custos com indenizações e penalidades ambientais				
	2015	2016	2017	2018	2019	2015	2016	2017	2018	2019
Aes Tietê	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
Cemig	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Copel	0	1	2	0	1	1	0	0	0	1
EDP	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0
Eletrobrás	1	1	2	2	1	0	2	1	1	2
Engie	1	1	1	1	2	0	1	0	0	0
Light	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 05: Custos correspondentes a danos ambientais.

Fonte: dos autores.

relacionadas as atividades sociais, e que não sofrem diretamente com questões compulsórias, o que faz com que outras informações sobre custos ambientais se sobressaíam sobre estas.

Rover et al. (2008), encontram cinco sentenças que se referem aos custos para proteção da natureza, melhorias para o meio ambiente, distribuição de informações ambientais, contribuição e apoio de grupos ambientais. Já na pesquisa de Silva et al. (2014) foi verificado 29 sentenças sobre custos ambientais de atividades sociais em um único ano de análise, no entanto Anzilago et al. (2017) sugerem uma avaliação mais específica sobre a forma de apresentação desses resultados, já que essa análise pode somar a futuras discussões. Como exemplo desta categoria, é a informação no Balaço Social da Eletrobrás sobre “gastos com a educação ambiental para empregados, terceirizados, autônomos e administradores da entidade R\$ 259 mil” (ELETROBRÁS, 2019). Por fim, a quarta categoria é sobre os custos correspondentes a danos ambientais (tabela 5), que se divide em duas subcategorias, totalizando 23 sentenças divulgadas.

As informações relativas aos Custos correspondentes a danos ambientais, mais uma vez destacou-se a empresa Eletrobrás que de 10 possibilidades, evidenciou 9, não divulgando apenas no ano de 2015 dados sobre Custos com indenizações e penalidades ambientais. O ano de 2019 apresentou 10 sentenças nesta categoria, sendo o ano com maior divulgação, seguido do ano de 2017 com 8 sentenças. A maioria das companhias divulgam nesta categoria os desembolsos da empresa para a recuperação de áreas já degradadas, que em muitos casos, é resultados de autos de infração que requerem a reparação dos danos causados ao meio ambiente, como exemplo temos duas sentenças divulgadas pela empresa Eletrobrás (2019) em seu balaço Social “Valor das multas e das indenizações

relativas à matéria ambiental, determinadas administrativas e/ou judicialmente R\$ 396 mil, e os gastos com a preservação e/ou recuperação de ambientes degradados R\$ 82.405 mil”.

Nesta categoria foi observado por Rover et al. (2008), o total de nove sentenças relacionadas aos os Custos com recuperação de contaminação ambiental. No estudo de Gubiani et al. (2013) verificou-se que cerca de 3 das 11 empresas analisadas divulgavam esse tipo de informação, e Silva et al. (2014) constataram a existência de 31 sentenças sobre custos correspondentes a danos ambientais nos relatórios analisados. As atividades do setor de energia elétrica causam impactos ao meio ambiente, e parte desse impacto é compensado pelas empresas através dos licenciamentos ambientais, programas e parcerias, reflorestamento de áreas degradadas, etc. Esse resultado converge com o entendimento de que as empresas acabam evidenciando aspectos ambientais por questões compulsórias, como informações sobre fatos que ocorreram que exigiram desembolsos para a reparação ou recuperação do meio ambiente. O Índice de disclosure sobre os custos ambientais (tabela 6), foi obtido através do número de sentenças divulgadas nos relatórios analisados no período de cinco anos, que se refere aos custos ambientais conforme o modelo de categorização proposto neste estudo.

Tabela 6: Índice de Disclosure dos custos ambientais.

Fonte: dos autores

Analisando a Média Geral da Tabela 6, é possível identificar que o índice disclosure foi aumentando gradualmente a cada período, sendo que em 2015 o índice foi de 46%, em 2016 de 51%, em 2017 de 60%, em 2018 de 62% e 2019 de 63% com uma média dos cinco períodos de 44%. De modo geral, o índice disclosure ambiental das empresas vem se tornando satisfatório no decorrer dos anos, por apresentar um percentual superior que 50%. Apenas

Empresas	2015		2016		2017		2018		2019		Média do Disclosure
	S c o r e	D i s c l o s u r e									
Aes Tietê	2	22%	2	22%	2	22%	4	44%	4	44%	22%
Cemig	5	56%	3	33%	4	44%	7	78%	6	67%	42%
Copel	6	67%	5	56%	9	100%	6	67%	3	33%	58%
EDP	6	67%	2	22%	5	56%	6	67%	8	89%	42%
Eletrobrás	5	56%	9	100%	7	78%	9	100%	9	100%	67%
Engie	3	33%	8	89%	8	89%	4	44%	7	78%	51%
Light	2	22%	3	33%	3	33%	3	33%	3	33%	24%
Média Geral	4	46%	5	51%	5	60%	6	62%	6	63%	44%

Tabela 06: Índice de Disclosure.
Fonte: dos autores.

as empresas Cemig e Copel apresentaram uma queda do disclosure no ano de 2019, sendo que a Cemig apresentou um índice de 78% em 2018 e de 67% em 2019, e a Copel de 67% em 2018 reduziu para 33% no ano de 2019.

As empresas Aes Tiete e Light foram as que apresentaram os menores índices de disclosure, Aest Tiete com uma média de 22% e a Light com 24%, em contrapartida, essas empresas conseguiram manter uma progressão durante os cinco anos analisados. O destaque do maior índice de disclosure fica com a Eletrobrás que teve uma média de 67%, sendo que no ano de 2015 apresentou 56%, em 2016 alcançou 100%, em 2017 teve 78% e nos anos de 2018 e 2019 obteve índice de 100%. O alcance de 100% do índice de disclosure não significa que a empresa evidenciou informações em todas as subcategorias analisadas, isso deve-se ao fato que a mesma subcategoria foi evidenciada por mais de uma vez em relatórios distintos, e que foi considerado 1 ponto para cada informação da mesma subcategoria evidencia pela empresa.

As empresas que apresentaram uma média superior a 50% do índice nos cinco anos analisados, foram a Engie com 51%, Copel com 58% e Eletrobrás com 67%. Quanto às categorias e com maior evidência, destaca-se a Custos ambientais para controlar ocorrência de impactos ambientais com 43% do total de sentenças evidenciadas, seguido dos Custos ambientais em atividades sociais com 34%, dos Custos correspondentes a danos ambientais com 19%, e com menor evidência temos a categoria dos Custos de conservação em atividades de pesquisa e

desenvolvimento possuindo 13% do total de sentenças. Para melhor observação da divulgação dos custos ambientais em suas subcategorias, é visto (tabela 7) o total de sentenças evidenciadas em cada subcategoria do modelo utilizado na pesquisa.

Verificou-se que as informações da subcategoria 3 (Custos para gestão de resíduos) foram mais encontrados nos relatórios analisados apresentando 20% do total das sentenças, seguida da subcategoria 5 (Custos para proteção da natureza, reflorestamento, embelezamento e melhorias para o meio ambiente) com 16%. A subcategoria que teve menor divulgação foi a 7 (Custos para contribuição e apoio de grupos ambientais) possuindo 3% do total das sentenças.

No geral, os resultados da análise desta pesquisa corroboraram com os dos estudos de Anzilago et al. (2017), Da Costa et al. (2009), Gubiani et al. (2013), Rover et al. (2008), e de Silva et al. (2014) que as empresas estão cada vez mais preocupadas com os danos que suas atividades geram ao meio ambiente, e procuram divulgar em nos relatórios suas ações que minimizam os danos e preservem o meio ambiente, promovendo a transparência dos seus impactos ambientais com seus stakeholders. Quando comparado ao estudo de Slacik e Greiling (2020), embora não foi comparado neste estudo as empresas listadas e não listadas, confirmasse a hipótese de que as empresas listadas tendem a divulgar de forma mais satisfatória as informações sobre os custos ambientais, ressaltando o seu comprometimento com a divulgação destas informações

Categorias	Subcategorias	2015	2016	2017	2018	2019	Total
Custos ambientais para controlar ocorrência de impactos ambientais	1	6	4	4	3	3	20
	2	0	2	9	5	6	22
	3	8	7	6	7	7	35
Custos de conservação em atividades de pesquisa e desenvolvimento	4	5	6	2	5	5	23
Custos ambientais em atividades sociais	5	4	5	7	6	6	28
	6	1	1	1	5	2	10
	7	1	1	1	2	1	6
Custos correspondentes a danos ambientais	8	3	3	7	4	7	24
	9	1	3	1	2	3	10

Tabela 07: Total de sentenças por subcategoria.

Fonte: dos autores.

aos seus investidores. No entanto cabe que ressaltar, que neste estudo foi utilizada uma metodologia diferenciada dos estudos anteriores, e que a análise foi realizada em relatórios e períodos diferentes e que existiram algumas divergências de resultados, mas verificando uma melhora na evidenciação dos custos ambientais.

5. CONCLUSÕES

O objetivo desta pesquisa foi analisar a evolução ocorrida no disclosure dos custos ambientais das empresas do setor de energia elétrica listadas no ISE da B3. Para isso, aplicou-se a técnica de análise de conteúdo nos Relatórios de Administração, Relatório de Sustentabilidade e Balanço Social do período de 2015 a 2019, sendo localizados 178 sentenças sobre custos ambientais. E por fim, aplicou-se a metodologia quantitativa para cálculo do índice de disclosure, utilizando como instrumento de coleta de dados as categorias e subcategorias propostas por Rover et al. (2008).

Os resultados da pesquisa apontaram que houve um aumento da evidenciação dos custos ambientais no decorrer dos anos. Analisando por subcategoria, verifica-se que a subcategoria 2 (Custos de conservação global ambiental) no ano de 2015 não apresentou nenhuma sentença, e já no ano de 2019 apresentou 6 sentenças; a subcategoria 8 (Custos correspondentes a danos ambientais) no ano de 2015 apresentou 3 sentenças e já no ano de 2019 mostrou 7 sentenças. No geral, é visto um aumento de 6% no número de sentenças divulgadas do ano de 2019 em relação ao ano de 2015. Desta forma, ressalta-se o compromisso das empresas em evidenciar a sua responsabilidade social

dentro do aspecto ambiental, e demonstrando em seus relatórios suas ações de sustentabilidade que agregam valor a empresa como agente econômico.

No índice de disclosure quatro empresas não obtiveram média superior à 50%, sendo elas Aes Tiete, Cemig, EDP e Light, porém todas elas mantiveram ou aumentaram o seu índice nos 2 últimos anos. Por outro lado, a empresa Copel teve uma média de 58%, mas no ano de 2019 reduziu em 37% seu disclosure em relação ao ano de 2018. E também temos a empresa que se destacou no disclosure dos custos ambientais, que foi a Eletrobrás com uma média de 67%, sendo em que três dos cinco anos analisados atingiu percentual máximo.

Conclui-se que algumas informações sobre custos ambientais que venham a favorecer a responsabilidade da companhia com o meio ambiente são mais evidenciadas, e que muitos desembolsos que a empresa faz para minimizar seus impactos ao meio ambiente, não são tratados como custos. Os resultados da pesquisa mostram a importância de existir um disclosure ambiental padronizado, para que no futuro torna-se obrigatório, e melhorem a qualidade das informações evidencias. Para futuras pesquisas, sugere-se a realização desta mesma metodologia em outros segmentos de empresas, sendo elas listadas no ISE ou em outros índices da B3 e até mesmo empresas estrangeiras.

REFERÊNCIAS

AES TIETE. **Relatório anual de Sustentabilidade**. 2019. Recuperado em 03 de dezembro de 2020 em

https://s3.amazonaws.com/homologadalov.cdn.aes-tiete.com/wp-content/uploads/2021/01/15142613/Relat%C3%B3rio-de-Sustentabilidade_2019.pdf

ANZILAGO, M. et al. Evidenciação de custos e despesas ambientais nas empresas do segmento de energia elétrica registradas na BOVESPA e no Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE). **Revista Metropolitana de Sustentabilidade** (ISSN 2318-3233), v.7, n.3, p. 5-24, 2017. Recuperado de <https://revistaseletronicas.fmu.br/index.php/rms/article/viewFile/1028/pdf>

ARAGÃO, L.A.; CAVALCANTE, D.S. Qualidade das informações do formulário de referência nas empresas brasileiras listadas no novo mercado da BM&FBovespa. **Race: revista de administração, contabilidade e economia**. v.13, n.3, p.1089-1118, 2014. Recuperado de <https://editora.unoesc.edu.br/index.php/race>

ASSUNÇÃO, H. B. et al. Evidenciação de Custos e Investimentos Ambientais em Empresas do Setor de Siderurgia e Metalurgia Listadas na B3. **Contexto**. v.20, n.45, 2020. Recuperado de <https://www.seer.ufrgs.br/ConTexto/article/view/99437>

AROWOSHEGBE, A. O.; EMMANUEL, U. Accounting for Social and Environmental Challenges: A Theoretical Perspective. **Saudi Journal of Business and Management Studies**. v.1, n.3, p.143-148, 2016. Recuperado de <https://saudijournals.com/media/articles/SJBMS-13143-148.pdf>

B3, BRASIL, BOLSA, BALCÃO. **Bolsa de Valores de São Paulo**. Recuperado em 25 de outubro de 2020 de www.b3.com.br.

BESSEN, F. G. et al. Evidenciação das informações ambientais nas empresas de energia elétrica classificadas no índice de Sustentabilidade empresarial (ISE). **In Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC**. 2018. Recuperado de <https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/view/4436>

BRAGA, J. P.; OLIVEIRA, J. R. S.; SALOTTI, B. M. Determinantes do nível de divulgação ambiental nas demonstrações contábeis de empresas brasileiras. **Revista de Contabilidade da UFBA**. v.3, n.3, p.81-95, 2009. Recuperado de <https://periodicos.ufba.br/index>

<http://www.b3.com.br/rcontabilidade/article/view/3819>

CEMIG. **Relatório anual de Sustentabilidade**. 2019. Recuperado em 03 de dezembro de 2020, de <https://novoportal.cemig.com.br/relatorio/relatorio-anual-de-sustentabilidade-2019/>

CFC. CONSELHO FEDERAL DE CONTABILIDADE. **NBC T 15 Informações de Natureza Social e Ambiental**. 2020. Recuperado de http://www1.cfc.org.br/sisweb/sre/detalhes_sre.aspx?Codig_o=2004/001003

CHING, H. Y.; TOSTE, T.; TARDELLI, R. A reference model of sustainability disclosure based on four sustainability stock indexes. **Journal of Management Research**. v.8, n.4, p.44-67, 2016. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Hong_Ching/publication/308400518_A_Reference_Model_of_Sustainability_Disclosure_based_on_Four_Sustainability_Stock_Indexes/links/580e028c08aebfb68a500873/A-Reference-Model-of-Sustainability-Disclosure-based-on-Four-Sustainability-Stock-Indexes.pdf

CRESWELL, J. **Projeto de pesquisa: Métodos qualitativo, quantitativo e misto**. 2 ed. Porto Alegre. Artmed, 2007.

DA COSTA, F. M. G.; VOESE, S. B.; ROSA, L. Custos e investimentos ambientais praticados pelas empresas do setor de energia elétrica que participam do ISE Bovespa 2008/2009. **Revista Contabilidade e Controladoria**. v.1, n.3, 2009. Recuperado de <https://revistas.ufpr.br/rcc/article/download/20666/13789>

DAWKINS, C.E.; FRAAS, J.W.. Beyond Acclamations and Excuses: Environmental Performance, Voluntary Environmental Disclosure, and the Role of Visibility. **J Bus Ethics**. v.92, n.655, 2011. <https://doi.org/10.1007/s10551-009-0149-2>

ELETRORÁS. **Relatório anual**. 2019. Recuperado de <https://eletrobras.com/pt/ri/DemonstracoesFinanceiras/Relat%C3%B3rio%20da%20Administra%C3%A7%C3%A3o%202019.pdf#search=RELAT%C3%93RIO%20DE%20ADMINISTRA%C3%87%C3%83O>

FONSECA, D. et al. Evolução da Evidenciação de

Custos Ambientais: Um Estudo em empresas do setor de Papel e Celulose –integrantes do Índice de Sustentabilidade Empresarial–ISE. **Revista de gestão ambiental e sustentabilidade**. v.5, n.2, p.34-48, 2016. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=471647049004>

GOMES, M. L. S. et al. Evidentiation of costs and environmental investments of the companies of the B3 chemicals industry. **Amazônia, Organizações e Sustentabilidade**. v.8,n.1, p.160-182, 2019. Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/a717/dbdc870fa2f5aa8309da91a4cf2be13efa0b.pdf>

GUBIANI, C. A.; SANTOS, V. D.; BEUREN, I. M. Disclosure ambiental das empresas de energia elétrica listadas no Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE). **Sociedade, Contabilidade e Gestão**. v.7, n.2, 2013. Recuperado de <http://www.atena.org.br/revista/ojs-2.2.3-08/index.php/ufrij/article/viewArticle/1491>

JASCH, C. The use of Environmental Management Accounting (EMA) for identifying environmental costs. **Journal of Cleaner Production**. v.11, n.6, p. 667-676, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(02\)00107-5](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(02)00107-5)

LEITE, R. M.; RIBEIRO, R. R.; PACHECO, V. Evidenciação do passivo ambiental e interação das empresas com o meio ambiente. In: **CONGRESSO ANPCONT**. v.1, pp. 10-15, 2007. Recuperado de <https://docplayer.com.br/16534060-Evidenciacao-do-passivo-ambiental-e-interacao-das-empresas-com-o-meio-ambiente.html>

LOPES, L.; SOUSA, A. F. de; PACE, E. S. U. Criação de Valor para Investidores em Processos de Fusões & Aquisições na Indústria de Transformação, 2001-2011. **Revista Competitividade e Sustentabilidade**, [S. l.], v. 2, n. 1, p. 15–32, 2015. DOI: 10.48075/comsus.v2i1.12971.

LUBIS, P. Y.; SHAHRI, B.; RAMIREZ, M. INTEGRAÇÃO DO DESIGN E DESIGN CENTRADOS NO SER HUMANO PARA FERRAMENTA DE SUSTENTABILIDADE: PROPOSTA DE PROJETO PARA FERRAMENTA DE AMENIZAÇÃO. **MIX Sustentável**, [S. l.], v. 8, n. 2, p. 19–30, 2022. DOI: 10.29183/2447-3073.MIX2022.v8.n2.19-30.

LUO, W. et al. Environmental information disclosure quality, media attention and debt financing costs:

Evidence from Chinese heavy polluting listed companies. **Journal of Cleaner Production**. v.231, p.268-277, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.237>

MALAQUIAS, R. F.; LEMES, S. Disclosure de instrumentos financeiros segundo as normas internacionais de contabilidade: evidências empíricas de empresas brasileiras. **BBR-Brazilian Business Review**. v.10, n.3, p.85-112, 2013. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/1230/123028447004.pdf>

RIBEIRO, M. S. **Contabilidade ambiental**. 2ª edição. São Paulo: Saraiva, 2010.

ROMANZINI, E. et al. Custos ambientais: uma análise nas indústrias siderúrgicas listadas no Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE). **Revista de Finanças e Contabilidade da Unimep**. v.6, n.1, p.1-15, 2019. Recuperado de <http://reficontunimep.com.br/ojs/index.php/Reficont/article/view/90>

ROVER, S.; BORBA, J. A.; BORGERT, A. How do corporations listed in Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE) disclose environmental costs and investments? **Custos e agronegócio on-line**. v.4, n.1, 2008. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/JOSE_BORBA/publication/268331090_How_do_Corporations_Listed_in_Indice_de_Sustentabilidade_Empresarial_ISE_Disclose_Environmental_Costs_and_Investments/links/54c25a2b0cf256ed5a8cb976/How-do-Corporations-Listed-in-Indice-de-Sustentabilidade-Empresarial-ISE-Disclose-Environmental-Costs-and-Investments.pdf

SALES, B.; ROVER, S.; DA SILVA FERREIRA, J. Coerência na evidenciação das práticas ambientais das empresas listadas no índice de sustentabilidade empresarial (ISE). **REVISTA AMBIENTE CONTÁBIL**. v.10, n.2, p.1-22, 2018. <https://doi.org/10.21680/2176-9036.2018v10n2ID12641>

SANTOS, I. L.; GOMES, G. S.; ALMEIDA, N. S. Evidenciação ambiental: uma análise das carteiras do ISE, ICO2 e IBovespa. In: **Anais do Congresso USP de Iniciação Científica em Contabilidade**. São Paulo, SP, Brasil. v.12, 2015. Recuperado de <https://congressousp.fipecafi.org/anais/artigos152015/254.pdf>

SILVA, T. L. et al. Disclosure of environmental costs and investments from electricity sector companies listed on ISE BM&FBOVESPA 2011/2012. **Custos e @gronegocio online**. v.10, n.2, p.970-984, 2014. Recuperado de <http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero2v10/Artigo%201%20bovespa%20%20english.pdf>

SILVA, M. N. D. et al. Determinantes do disclosure ambiental nos relatórios de empresas listadas na Bovespa. **REVISTA AMBIENTE CONTÁBIL**. v.7, n.2, p.1-15, 2015. Recuperado de <http://www.atena.org.br/revista/ojs-2.2.3-06/index.php/Ambiente/article/view/2465/2119>

SILVA, G. L. L.; FELIX JÚNIOR, L. A. Disclosure ambiental: uma análise comparativa entre os setores de empresas listadas na BM&FBovespa. **Revista Gestão e Organizações**. v. 02, n. 01, 2017. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Luiz_Felix_Junior/publication/334401298_DISCLOSURE_AMBIENTAL_UMA_ANALISE_COMPARATIVA_ENTRE_OS_SETORES_DE_EMPRESAS_LISTADAS_NA_BMFBVESPA/links/5d27a973458515c11c26aabdb/DISCLOSURE-AMBIENTAL-UMA-ANALISE-COMPARATIVA-ENTRE-OS-SETORES-DE-EMPRESAS-LISTADAS-NA-BM-FBOVESPA.pdf

SLACIK, J.; GREILING, D. Coverage of G4-indicators in GRI-sustainability reports by electric utilities. *Journal of Public Budgeting, Accounting & Financial Management*. v. 32, n. 3, pp. 359-378, 2020. <https://doi.org/10.1108/JPBAFM-06-2019-0100>

SOUZA, R. F. et al. A legitimidade do Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE) frente aos demais Índices B3. RACE, **Revista de Administração, Contabilidade e Economia**. v.18, n.3, p.521- 542, 2019. Recuperado de <http://editora.unoesc.edu.br/index.php/race>

TUYEN, N. T. K.; TIEN, N. N.; HUONG, N. T. M. Assessing the level of environmental information disclosure by listed companies on the stock market in Vietnam. **Journal of Problems and Perspectives in Management**. v.17, n.3, p. 207-217, 2019. Recuperado de https://businessperspectives.org/images/pdf/applications/publishing/templates/article/assets/12391/PPM_2019_03_Nguyen.pdf

ZHONGFU, Y.; JIANHUI, J.; PINGLIN, H. The study on the correlation between environmental information disclosure and economic performance-with empirical data from the manufacturing industries at Shanghai Stock Exchange in China. **Energy Procedia**. v.5, p.1218-1224, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.03.213>

AUTORES

ORCID: 0000-0003-2544-3695

FRANCIELI BINOTTI, Mestre em Administração - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel - PR - Brasil. Correspondência para: R. Universitária, 1619 - Jardim Universitário. CEP: 85819-110 - Cascavel - PR. E-mail: franbinotti05@hotmail.com

ORCID:0000-0002-0962-4157

DAIANE ALINE TOMAZ SOBCZUK, Mestre em Administração - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel - PR - Brasil. Correspondência para: R. Universitária, 1619 - Jardim Universitário. CEP: 85819-110 - Cascavel - PR. E-mail: daiane_at@outlook.com

Registro da contribuição de autoria:

ORCID: 0000-0001-5814-7097

ANDREA PAEZE, Mestre em Administração - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel - PR - Brasil. Correspondência para: R. Universitária, 1619 - Jardim Universitário. CEP: 85819-110 - Cascavel - PR. E-mail: andrea.paeze@hotmail.com

ORCID:0000-0001-9424-4089

GEYSLER ROGIS FLOR BERTOLINI, Docente do Doutorado em Desenvolvimento Rural Sustentável, do Mestrado Profissional em Administração e do Mestrado em Contabilidade. Doutor em Engenharia de Produção - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel - PR - Brasil. Correspondência para: R. Universitária, 1619 - Jardim Universitário. CEP: 85819-110 - Cascavel - PR. E-mail: geysler_rogis@yahoo.com.br

COMO CITAR ESTE ARTIGO

BINOTTI, Francieli; SOBCZUK, Daiane Aline Tomaz; PAEZE, Andrea; BERTOLINI, Geysler Rogis Flor. Disclosure dos Custos Ambientais: Análise Temporal das Empresas de Energia Elétrica Listadas no Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE). **MIX Sustentável**, v. 9, n. 3, p. 33-49,

2023. ISSN 2447-3073. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustenta-vel>>. Acesso em: _/_/_. doi: <<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n3.33-49>>.

SUBMETIDO EM: 12/01/2023

ACEITO EM: 13/04/2023

PUBLICADO EM: 30/07/2023

EDITORES RESPONSÁVEIS: Helena Maria Coelho da Rocha Terreiro Galha Bártolo e Lisiane Ilha Librelotto.

Registro da contribuição de autoria:

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

FB: análise formal, investigação, metodologia, escrita - rascunho original.

DATS: análise formal, investigação, metodologia, escrita - rascunho original.

AP: análise formal, investigação, metodologia, escrita - rascunho original.

GRFB: conceituação, metodologia, administração de projetos, supervisão, escrita - revisão e edição.

Declaração de conflito: nada foi declarado.

MECHANICAL BEHAVIOR OF HIGH-DENSITY POLYETHYLENE REINFORCED WITH GRAPHENE NANOPATELETS AND JUTE FABRIC

COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD REFORZADO CON NANOPLAQUETAS DE GRAFENO Y TEJIDO DE JUTE

COMPORTAMENTO MECÂNICO DO POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE REFORÇADO COM NANOPLATAS DE GRAFENO E TECIDO DE JUTE

ULISSES OLIVEIRA COSTA, MSc. | Instituto Militar de Engenharia (IME), Brasil

WENDELL BRUNO ALMEIDA BEZERRA, Dr. | Instituto Militar de Engenharia (IME), Brasil

NOEMI RAQUEL CHECCA HUAMAN, PhD. | Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), Brasil

SERGIO NEVES MONTEIRO, Dr. | Instituto Militar de Engenharia (IME), Brasil

WAGNER ANACLETO PINHEIRO, Dr. | Instituto Militar de Engenharia (IME), Brasil

LUCIO FABIO CASSIANO NASCIMENTO, Dr. | Instituto Militar de Engenharia (IME), Brasil

ABSTRACT

Owing to sustainable characteristics, natural lignocellulosic fibers (FNLs) and graphene nanoplatelets (GNP)-reinforced composites are currently seeing applications in a wide range of industrial fields. Thus, in the present work, the mechanical, and flexural properties of high-density polyethylene (HDPE) reinforced with 0, 0.10, 0.25, and 0.50 wt.% of GNP and 50 vol.% of jute fabric were investigated and statistically validated through ANOVA and the Tukey test. The extrusion process followed by hot pressing resulted in films of GNP-reinforced HDPE nanocomposites that were used to fabricate the jute fabric-reinforced composite plates. In particular, the Jute/HDPE/0.25%GNP composite outperformed the strength of those described in the literature, even some with higher GNP. Enhancements of 38% were observed for the composite's flexural modulus as compared to the GNP-free Jute/HDPE composite. Regarding the tensile properties, the ductility of the Jute/HDPE/0.25%GNP was increased by 112% when compared to the Jute/HDPE. Moreover, the toughness of the Jute/HDPE/0.25%GNP was 161% superior to the Jute/HDPE composite. SEM analysis of the fracture surfaces showed that, as GNP concentration rises, the fracture mechanisms change from a shear band to a complex mixture of fibrillation, tearing, and crazing. Consequently, the results reveal the novel Jute/HDPE/0.25%GNP nanocomposite as a promising material for engineering applications.

KEYWORDS

Nanocomposite; Jute fabric; Graphene nanoplatelet; High-density polyethylene.



RESUMEN

Debido a sus características sostenibles, las fibras lignocelulósicas naturales (FLN) y los compuestos reforzados con nanoplaquetas de grafeno (GNP) están siendo utilizados en una amplia gama de campos industriales. En este trabajo, se investigaron las propiedades mecánicas y de flexión del polietileno de alta densidad (HDPE) reforzado con 0%, 0.10%, 0.25% y 0.50% en peso de GNP combinado con 50% en volumen de tejido de yute. Se validaron estadísticamente las propiedades mecánicas y flexurales del polietileno de alta densidad (HDPE) reforzado con GNP y tejido de yute utilizando ANOVA y la prueba de Tukey. El proceso de extrusión seguido del prensado en caliente dio como resultado películas de nanocompuestos de HDPE reforzados con GNP que se utilizaron para fabricar las placas compuestas reforzadas con tejido de yute. En particular, se observó que el compuesto Jute/HDPE/0.25%GNP superó la resistencia de los compuestos descritos en la literatura, incluso algunos con mayor concentración de GNP. Se observaron mejoras del 38% en el módulo de flexión del compuesto en comparación con el compuesto Jute/HDPE sin GNP. En cuanto a las propiedades de tracción, se incrementó la ductilidad del Jute/HDPE/0.25%GNP en un 112% en comparación con el Jute/HDPE. Además, la tenacidad del compuesto Jute/HDPE/0.25%GNP fue un 161% superior a la del compuesto Jute/HDPE. El análisis SEM de las superficies de fractura mostró que, a medida que aumenta la concentración de GNP, los mecanismos de fractura cambian de una banda de corte a una mezcla compleja de fibrilación, desgarro y agrietamiento. En consecuencia, los resultados revelan que el novedoso nanocompuesto Jute/HDPE/0.25%GNP es un material prometededor para aplicaciones de ingeniería.

PALABRAS CLAVE

Nanocompuesto; tela de Jute; nanoplaquetas de grafeno; Polietileno de alta densidad.

RESUMO

Devido às características sustentáveis, as fibras lignocelulósicas naturais (FNLs) e os compósitos reforçados com nanoplaquetas de grafeno (GNP) estão atualmente tendo aplicações em uma ampla gama de campos industriais. Assim, no presente trabalho, foram investigadas as propriedades mecânicas e de flexão do polietileno de alta densidade (PEAD) reforçado com 0, 0,10, 0,25 e 0,50% em peso de GNP combinado com 50% em volume de tecido de juta. Em particular, o compósito JuteJuta/HDPE/0,25%GNP superou a resistência daqueles descritos na literatura, mesmo para alguns com maior GNP. Melhorias de 38% foram observadas para o módulo de flexão do compósito em comparação com o compósito de juta/HDPE livre de GNP. Com relação às propriedades de tração, a ductilidade da Jute/HDPE/0,25%GNP foi aumentada em 112% quando comparada à Jute/HDPE. Além disso, a tenacidade do compósito Jute/HDPE/0,25%GNP foi 161% superior à do compósito Jute/HDPE. A análise SEM das superfícies de fratura mostrou que, à medida que a concentração de GNP aumenta, os mecanismos de fratura mudam de uma banda de cisalhamento para uma mistura complexa de fibrilação, rasgo e fissura. Consequentemente, os resultados revelam o novo nanocompósito Jute/HDPE/0,25%GNP como um material promissor para aplicações em engenharia.

PALAVRAS CHAVE

Nanocompósito; Tecido de juta; Nanoplaqueta de grafeno; Polietileno de alta densidade.

1. INTRODUCTION

Natural lignocellulosic fibers (NLFs) have been gaining attention from researchers around the world as reinforcement for engineering applications in the past decades [1-5]. They find applications in polymer matrix composites, particularly in the automobile industry [6,7], packaging [8], biomass [9], as well as building materials [10,11]. The potential of NLF composites has been associated with several of their inherent advantages when compared to synthetic fibers such as low cost, low density, comparable specific tensile properties, non-abrasion to equipment, non-irritation to the skin, reduced energy consumption, lower health risk, renewability, recyclability, and biodegradability [11]. In fact, polymer matrix composites reinforced with NLFs proved to be as efficient as those produced with synthetic fibers, especially fiberglass [12]. Furthermore, in recent years it has been reported that NLF composites can even successfully replace aramid fiber or fabric (Kevlar™) in ballistic protection applications with equal or even greater efficiency [13-20].

Regarding polymeric composites reinforced with NLFs, they could be cheaper, stronger, and more environmentally friendly, but the potential of NLFs for polymeric composites has not yet been fully explored. As for the matrix, there are three options widely available: thermoset, rubber, and thermoplastic. According to Gowda *et al.* [21], the main thermoplastics used as matrices for composites are nylon, cellulose acetate, polystyrene (PS), polypropylene (PP), polyethylene (PE), polycarbonate (PC), polyvinyl chloride (PVC), polyether-ether ketone (PEEK), and acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS). Among these, the PE composites, more specifically the high-density polyethylene composites (HDPE), offer low cost and ease of processing (via injection molding or extrusion) [22]. Several authors have reported the use of natural fibers as reinforcement in HDPE composites such as corn [23], PALF [24], kenaf [25], sugarcane bagasse [26], and coconut [27,28]. In all cases, the composites showed improved tensile, bending, impact, and thermal properties. These properties might be further improved in novel nanocomposites.

Nanocomposites, notably those based on graphene, have distinguished themselves from composites consisting merely of NLFs and polymeric matrices due to their even more optimized characteristics and diversity of reinforcements [29,30]. Due to its amazing capabilities, graphene has attracted a great deal of interest ever since it

was discovered and industrially produced [29]. Graphene has become a more desirable alternative as a reinforcing phase in polymeric materials, due to the possibility to be produced in vast quantities from inexpensive graphite [31-34]. High-ratio graphene nanoplatelets (GNP), which can be thought of as small stacks of graphene sheets with thicknesses varying from 1 to 20 nm, are produced when graphite expands. In theory, the large surface area of GNPs is a key factor for nucleation during polymer crystallization. Consequently, this can cause a considerable increase in thermal, mechanical, and physical properties [30,33,34].

Jute fiber (*Corchorus capsularis*) stands out among the many NLFs with potential application in engineering. This fiber is one of the best-known and most studied NLFs in the world, as well as one of the cheapest and strongest [35]. Jute fiber has traditionally been used to make bags, fabrics, rugs, yarns, and ropes. The automotive, construction, and packaging industries have also used this fiber as a reinforcing material [36-39]. In addition, compared to glass, carbon, and aramid fibers, jute fiber has a lower density and is lighter, with higher specific strength and stiffness. Some important physical and mechanical properties of jute fiber are as follows: density 1.3-1.46 g cm⁻³, elongation 1.5%-1.8%, tensile strength (σ) 393-800 MPa, specific tensile strength (σ_{sp}) 302-547 MPa/gcm³, Young's modulus (E) 10-30 GPa and specific Young's modulus (σ_{sp}) 8-20.5 GPa/gcm³ [35,40].

Consequently, polymer matrix composites reinforced with jute fiber and GNP offer certain essential sustainability qualities. Such as the use of more environmentally friendly materials, such as jute fiber, and the manufacturing of GNP that does not result in solvent discharge in the environment. There is also the added value to the product, which was formerly utilized for handicrafts. As a result, the novel nanocomposite will be able to have nobler uses, such as engineering applications, and shift the economy more forcefully towards more sustainable materials. Thus, in this work, for the first time, the mechanical and flexural properties of jute fabric/GNP-reinforced HDPE nanocomposites were investigated.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1 Jute Fabric

The jute fabric was purchased from the company Sisalsul, Figure 1, based in São Paulo, Brazil. The fiber density was

assumed to be $\sim 1.3 \text{ g/cm}^3$, according to Monteiro *et al.* [3].



Figure 1: Jute: (a) Plant (*Corchorus Capsularis*); (b) fabric.
Source: Author (2023).

The jute fabric with a simple weave was cut to the dimensions of 120 x 120 mm and properly dried in an oven at 60 °C for 24 h.

2.2. High-density polyethylene (HDPE)

High-density polyethylene (HDPE), grade HE150, was purchased from Braskem, São Paulo, Brazil, in the form of pellets. HDPE density was considered to be 0.948 g/cm^3 , according to the product specification provided by Braskem. The HE150 resin is specially developed for the monofilament extrusion process. Commonly applied for the extrusion of orientated structures, it exhibits a low level of gel and an excellent mix of processability, reliability, and stability.

2.3. Graphene nanoplatelets (GNPs)

UCSGraphene, Caxias do Sul, Brazil, provided the graphene nanoplatelets (GNP). This material was supplied as a powder with particles made up of 10 to 50 layers of graphene. Used to strengthen the HDPE matrix in nanocomposites with 0, 0.10, 0.25, and 0.50 wt.% of GNP.

2.4. Nanocomposites fabrication

Initially, the GNP powder was mixed with HDPE through mechanical agitation to produce a concentrate. Subsequently, the GNP/pellets mixture was processed into four GNP weight fractions, corresponding to 0.10, 0.25, and 0.50 wt.% in an interpenetrating, co-rotating, twin-screw extruder Tecktril, model DCT-2. According to Escocio *et al.* [41], the ideal extrusion conditions were set as: screw rotation of 300 rpm; feeder rotation of 15 rpm; temperature in the processing zones: first: 90 °C; second to fifth: 140 °C; sixth to ninth: 160 and 180 °C.

Then, from each fraction of HDPE/GNP, 300 μm -thick films were produced by hot compression molding at 150 °C, using a heat press. As one can see in Figure 2, to produce the nanocomposite plates, a laminate pattern was used, in which the fabric layers were alternately arranged with polymeric films. Thus, to reach the condition of 50 vol.% of reinforcement in the polymeric matrix, based on the methodology of Tomasi Tessari *et al.* [42], 20 layers of jute fabric were used and, consequently, 21 layers of HDPE films.

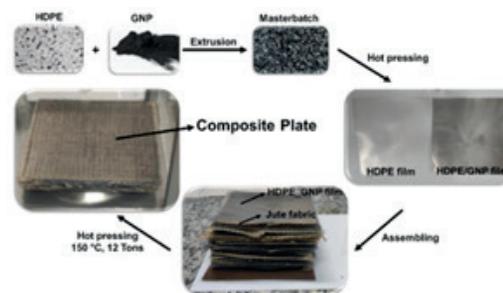


Figure 2: Scheme of the fabrication of the composite plates.
Source: Author (2023).

During the processing, the pressure was increased by one ton during 1 min for each new pressure step and 30 s of degassing. This process was repeated until reaching a pressure of 12 tons. Finally, cooling was performed at room temperature resulting in the composite plates denoted as: Jute/HDPE, Jute/HDPE/0.10%GNP, Jute/HDPE/0.25%GNP, and Jute/HDPE/0.50%GNP. Each plate had dimensions of 120 x 120 x 10 mm. The density of the nanocomposite plates was determined using the Arquimedes test and was validated by geometric measurements to be $0.92 \pm 0.031 \text{ g/cm}^3$.

2.5. Tensile test

The tensile tests were performed at the Mechanical Testing Laboratory at PUC-Rio, Rio de Janeiro, Brazil, using an INSTRON 3365 universal machine. The test speed and cell load parameters were 2 mm/min and 10 KN, respectively. Seven samples were cut manually with a bandsaw to the dimensions of the samples 120 x 15 x 10 mm³, adapted from the ASTM D3039 standard [43]. From the tensile test, Young's modulus (E), tensile strength (σ), and ductility (ϵ) were calculated for all the composites.

2.6. Bending test

The bending test was carried out in the three-point

bending mode using an EMIC machine model DL10000, at the Non-Destructive Testing, Corrosion and Welding Laboratory, Rio de Janeiro, Brazil. The test methodology was in accordance with ASTM D790 [44]. The specimens were made from the composite plates by adapting the standard dimensions to 120 x 15 x 10 mm. Seven samples were used for each composite condition. Other parameters, such as the deformation speed and the distance between the supports were set as 2 mm/min and 4 times the specimens' width, respectively. The flexural results were analyzed in order to obtain both the maximum stress or flexural strength (σ_{max}) and the flexural modulus (E), which were calculated using the Eqs. (1) and (2).

$$\sigma_{max} = \frac{3LQ_m}{2bd^2} \quad (1)$$

$$E = \frac{mL^3}{4bd^3} \quad (2)$$

Where:

Q_m – maximum load, N;

m – slope of the tangent to the initial straight-line portion of the load-deflection curve, N/mm;

L – support span, mm;

b , and d – width of beam tested, mm, and depth of beam tested, mm respectively;

2.7. Transmission electron microscopy (TEM)

The morphology and crystalline structure of GNPs were analyzed by high-resolution transmission electron microscopy (HR-TEM) and Selected area electron diffraction (SAED) modes. Analyzes were performed using the JEOL 2100F microscope, at the Brazilian Center for Physical Research (CBPF), Rio de Janeiro, Brazil. The microscope was equipped with a CMOS camera and operated with an accelerating voltage of 200 kV.

2.8. Scanning electron microscopy (SEM)

Microscopic analyses were performed in order to observe the fracture surface of the composites after the tensile tests, as well as the surface morphology of the HDPE and HDPE/GNP nanocomposites films, using a scanning electron microscope (SEM Quanta FEG 250, FEI), operating with secondary electrons accelerated at 10 kV. Samples were sputter coated in a LEICA

equipment model EM ACE600, at the CBPF.

2.9. X-ray diffraction (XRD) analysis

XRD analysis was performed to determine the diffraction patterns, as well as estimate the crystallinity fraction of HDPE, HDPE/0.10%GNP, HDPE/0.25%GNP, HDPE/0.50%GNP nanocomposites. The equipment used was a PANalytical X'Pert Pro diffractometer. The diffractometer was equipped with a Co (cobalt) anode and scintillation counter type detector (NaI). Operation parameters were set as power 40 mA x 40 kV, sweep from 5° to 75°, in the configuration $\theta-2\theta$ coupled.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

3.1. TEM analysis

HR-TEM characterization was performed to visualize the morphology of the graphene sheets, as presented in Figure 3a. These sheets have different shapes, and sizes (ranging from micrometers to nanometers); however, they present nanometric layer thicknesses. Some of these sheets are rolled or semi-rolled, as displayed in Figure 3b and c. This is due to the higher thermodynamic stability of the 2D membrane resulting from microscopic crumpling via bending or buckling [45]. The sheet's structure was analyzed by SAED, as shown in Figure 3d, showing well-defined monocrystalline-type spots, which were indexed as ICSD-76767 with the space group P63/mmc. In addition to the sheets, clusters of GNP were also found, Figure 3d, with less than 20 nm in length as shown in Figure 3e. However, all GNP together act as a polycrystalline sheet, which was confirmed by the SAED diffraction pattern in Figure 3f. The integrated angular intensity of the diffraction patterns in Figure 3g shows peaks with maxima at similar interplanar distances to P63/mmc (hexagonal), which are consonant with the ones found in the literature [46-48].

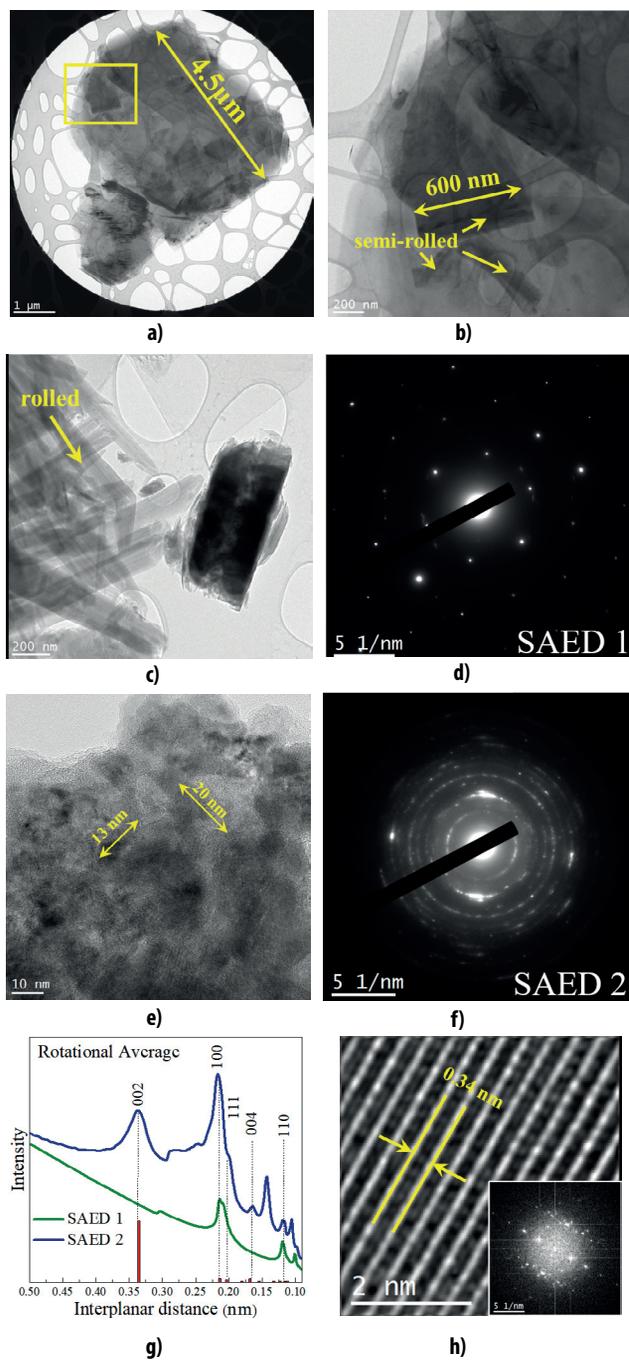


Figure 3: Shows the HR-TEM images of the GNPs
 (a) agglomerate of GNPs;
 (b) presents the GNP monocrystalline structure semi-rolled;
 (c) displays GNP completely rolled;
 (d) diffraction pattern of monocrystalline structured GNPs;
 (e) agglomerate with nanometric GNPs;
 (f) Diffraction pattern of polycrystalline agglomerate;
 (g) Intensity profile and interplanar distances of the indexed planes through the diffraction points indicated in the panel of areas.

Fonte: Authors (2023).

As can be seen from Figure 3g, the interplanar distances for the monocrystalline planes {002}, {100}, {111}, {004}, and {110} from SAED were calculated as 0.34, 0.22, 0.20, 0.17, and 0.12 nm, respectively. Figure 3h displays the interplanar distance of 0.34 nm which corresponds to the d-spacing of the {002} planes of GNPs that was further confirmed by the XRD analysis. The diffracted crystal planes registered in XRD ({002}, and {004}) are also confirmed by SAED.

However, Figure 3g shows some unidentified reflections that may have their origin due to the electron wavelength being smaller than the XRD, and causing diffraction at smaller angles, i.e., the multiple scattering in SAED. This is attributed to the interactions of matter with electrons being stronger than with X-rays resulting in reflections in SAED that are not observed in XRD [49,50]. The diffracted crystal planes registered in XRD ({002}, and {004}) are different from the ones identified in SAED {104}, and {015}, except for {100}.

3.2. X-ray diffraction analysis

The crystal structures of GNPs, HDPE, and HDPE/GNP nanocomposites were studied and their XRD patterns are shown in Figure 4. The GNP diffractogram shows a sharp peak at $2\theta \approx 30.69^\circ$ and weak peaks at $2\theta \approx 51.96^\circ$, and 64.18° corresponding to carbon reflections {002}, {100}, and {004}, respectively [36,50]. The sharp peak located at $2\theta \approx 30.69^\circ$ is characteristic of hexagonal nanoplatelets, with a d-spacing of 0.338 Å, calculated using Bragg's law.

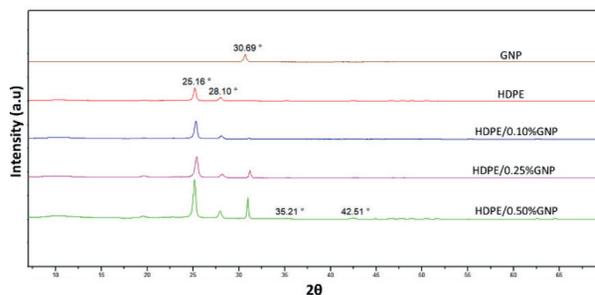


Figure 4: XRD patterns of the HDPE/GNP nanocomposites with different nanofiller loadings.

Source: Authors (2023).

Furthermore, two strong peaks centered at $2\theta = 25.16^\circ$ and $2\theta = 28.10^\circ$, corresponding to reflections {110} and {200} of the HDPE orthorhombic phase, and two weak peaks centered at $2\theta = 35.21^\circ$ and 42.51° , corresponding to the reflection planes {210} and {020}, respectively, were clearly seen in the plain HDPE XRD pattern [50].

In the XRD patterns of HDPE/GNP nanocomposites, the peak intensities at $2\theta \approx 25.16^\circ$ and $2\theta \approx 28.10^\circ$ decreased with increasing GNP load, while the peak intensities at $2\theta \approx 35.21^\circ$ and $2\theta \approx 42.51^\circ$ increased. The XRD pattern of HDPE-based nanocomposites exhibited a combination of HDPE and GNP associated peaks.

The crystalline fraction was estimated using the ratio of the area under the crystalline peaks to the total area under the spectrum for each nanocomposite. As a result, the crystallinity fraction increases as the amount of GNP increases, HDPE (57.45%), HDPE/0.10%GNP (58.60%), HDPE/0.25%GNP (60.17%) and HDPE/0.50%GNP (65.43%). Thus, these results indicate that GNPs can act as nucleating agents and that nucleation begins in the vicinity of GNPs [36,42,50].

3.3. Bending test results

Three-points bending tests were carried out on the hot compression molded Jute/HDPE, Jute/HDPE/0.10%GNP, Jute/HDPE/0.25%GNP, and Jute/HDPE/0.50%GNP nanocomposites. Considering the overlap observed in error bars, as shown in Figure 5, it can be inferred that the flexural strength changed very little with the different composite formulations. As a result, an analysis of variance (ANOVA) was conducted using the data of Figure 5, and the discussion is provided below.

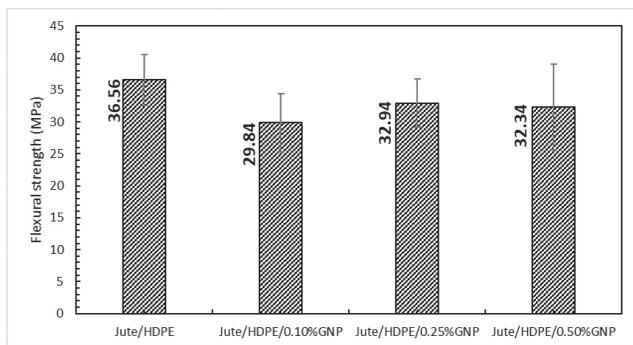


Figure 5: Flexural strength at yield of the nanocomposites with different GNP loadings.
Source: Authors (2023).

From ANOVA, the F-calculated (2.26) is lower than F-critic (3.01); therefore, this result indicates that the average values of flexural strength are equal, with 95% of confidence. However, a significant increase in the flexural modulus with increasing GNP wt.% was found in Figure 6. The Jute/HDPE/0.50%GNP nanocomposite presented a higher elasticity modulus than the other composites

investigated in this work. A 65% increase in the elasticity modulus of Jute/HDPE/0.50%GNP nanocomposite was observed, when compared to the Jute/HDPE composite.

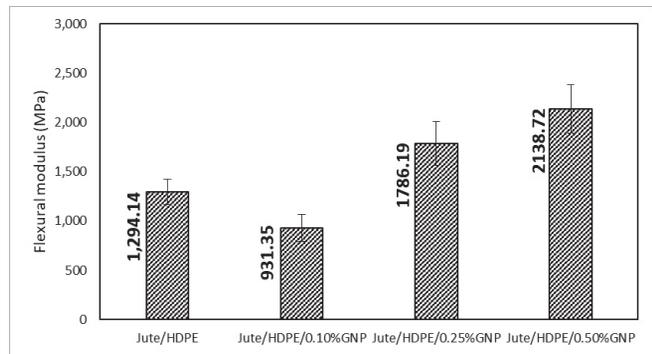


Figure 6: Flexural modulus of the nanocomposites with different GNP loadings
Source: Authors (2023).

The Tukey test was performed, based on the minimum significant difference (msd), which is a value that can discriminate which treatment shows the difference in its average values. This value can be calculated using Eq. (3). Once the difference between the average values of groups, compared two by two, is higher than the msd value, this pair is considered to be different.

$$msd = q \cdot \sqrt{\frac{ASR}{r}} \quad (3)$$

where ASR is the average square of the residue inside the groups; r is the number of repetitions of each treatment inside the groups; and q is the total student amplitude (tabulated value), which depends on the degree of freedom (DF) of the residue and the number of treatments.

Then, based on the results shown in Figure 6, ANOVA was performed. With 95% confidence, one can say that the average values are different since F-calculated (39.28) > F-critic (3.24). As a result, the Tukey test was used to determine how groups varied from one another, and the msd was calculated as 387.28. As a direct consequence, the values presented in red in Table 1 are thought to be distinct from their corresponding rows and columns, or vice versa.

Almost all values in Table 1 differ from one another when compared two by two, with the exception of Jute/HDPE/0.10%GNP and Jute/HDPE. Additionally, the Jute/HDPE/0.25%GNP showed a noteworthy rise of 38%. The-

se findings show that the flexural characteristics of the nanocomposite's changed as a result of the melt mixing process of the GNP nanofiller into the HDPE matrix.

	Jute/ HDP E	Jute/HDPE /0.10%GNP	Jute/HDPE /0.25%GNP	Jute/HDPE /0.50%GNP
Jute/HDPE	0.00	362.78	492.06	844.59
Jute/HDPE /0.10%GNP	362.78	0.00	854.84	1207.37
Jute/HDPE /0.25%GNP	492.06	854.84	0.00	352.53
Jute/HDPE /0.50%GNP	844.59	1207.37	352.53	0.00

Table 1: Tukey test for the results of Flexural modulus of the nanocomposites. Source: Authors (2023).

Furthermore, the Jute/HDPE/0.50%GNP composite's flexural characteristics outperformed those reported in the literature for HDPE nanocomposites with multiple GNP concentrations ranging from 0 to 10 wt%. [28]. According to these findings, thermoplastic matrices combined with NLFs and GNP may provide a brand-new, highly promising class of nanocomposites for use in engineering [28,51].

These findings may be related to the dispersion and aligning of the nanofiller in the HDPE matrix, i.e., the smaller amount of GNPs used in the extrusion and subsequent hot molding of the HDPE/GNP films resulted in less agglomerations and GNPs misalignment in the HDPE films. Therefore, the flexural characteristics tend to increase with the increase in GNP amount since they are scattered perpendicular to the flexural stress [51].

3.4. Tensile test results

Through the tensile tests, the ultimate strength (σ_u), modulus of elasticity E , ductility (ϵ_t), and toughness (T) (area under the σ vs ϵ curve) were obtained. Figure 7 shows the results for the modulus of elasticity.

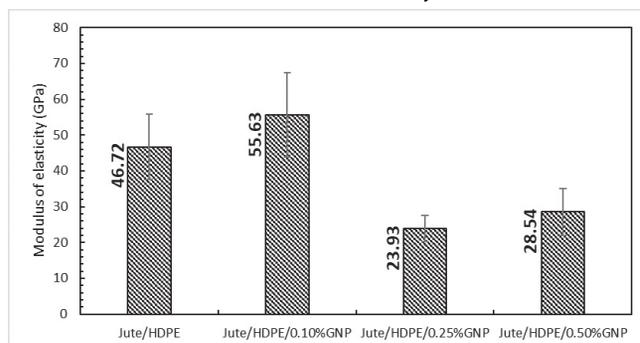


Figure 7: Modulus of elasticity of the nanocomposites with different GNP loadings. Source: Author (2023).

As the nanofiller weight fraction increases, the value of E presents a tendency to decrease, as seen in Figure 7. The results from the ANOVA and Tukey tests, to determine if the average values are substantially different from one another, are displayed in Table 2.

Because the F-calculated value (23.73) is higher than the F-critic, it is evident that the average values E are significantly different (3.49). Then, one is able to note that the Jute/HDPE/0.25%GNP and Jute/HDPE/0.50%GNP are distinct from the Jute/HDPE and Jute/HDPE/0.10%GNP based on the Tukey test, with a msd of (1477.88), shown in Table 2.

	Jute/ HDP E	Jute/HDPE /0.10%GNP	Jute/HDPE /0.25%GNP	Jute/HDPE /0.50%GNP
Jute/HDPE	0.00	1646.03	1742.13	1271.49
Jute/HDPE /0.10%GNP	1646.03	0.00	3388.16	2917.53
Jute/HDPE /0.25%GNP	1742.13	3388.16	0.00	470.64
Jute/HDPE /0.50%GNP	1271.49	2917.53	470.64	0.00

Table 2: Tukey test for the results of Modulus of elasticity of the nanocomposites Source: Authors (2023).

The increase in GNP fraction caused significant changes in the value of E . For tensile properties, lower amounts of GNP showed to be more efficient at enhancing the mechanical behavior. This phenomenon might be associated with stress concentration points due to the agglomeration of the GNPs in the HDPE matrix [51-53]. However, the values E found for the Jute/HDPE composites (4.27 GPa) were much higher than those reported in the literature (~1.0 GPa) [54,55].

An increase of 50% was shown by the Jute/HDPE/0.10%GNP composite (6.40 GPa) in comparison to the Jute/HDPE composite studied in this work. When compared to the value reported in the literature, the increase becomes 540% [54,55]. Additionally, another noticeable fact was that the value of E for the Jute/HDPE/0.10%GNP composite is similar to that found for the jute composites with thermoset matrices [55].

Regarding the tensile strength, Figure 8 shows the average values and their standard deviation. Because of the overlapped standard deviation bars, the ANOVA and Tukey tests were performed to investigate if the average values present any significant difference.

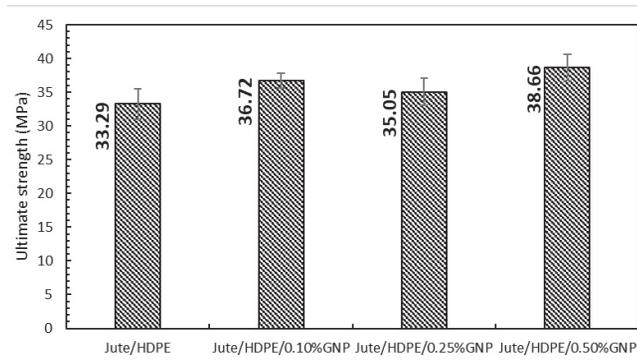


Figure 8: Ultimate strength of the nanocomposites with different GNP loadings.
Source: Author (2023).

From the ANOVA, since F-calculated (9.081) is higher than f-critic (3.098), it was possible to affirm that the average values are not equal with 95% of confidence. Thus, the Tukey test was performed and is presented in Table 3. The msd was calculated as (4.37), which means the Jute/HDPE/0.10%GNP showed a significant difference in relation to the Jute/HDPE composite.

	Jute/HDPE	Jute/HDPE /0.10%GNP	Jute/HDPE /0.25%GNP	Jute/HDPE /0.50%GNP
Jute/HDPE	0.00	3.43	1.77	5.37
Jute/HDPE /0.10%GNP	3.43	0.00	1.66	1.95
Jute/HDPE /0.25%GNP	1.77	1.66	0.00	3.61
Jute/HDPE /0.50%GNP	5.37	1.95	3.61	0.00

Table 3: Tukey test for the results of ultimate strength of the nanocomposites.
Source: Author (2023).

On the other hand, the Jute/HDPE/0.50%GNP and Jute/HDPE/0.10%GNP were considered to be equal, i.e., the average values of ultimate strength did not change with further increments in GNP fractions over 0.10 wt.%. This result indicates that at low nanofiller content, graphene nanoplatelets perform significantly better than in higher amounts due to the agglomeration and alignment of the GNPs in the HDPE matrix [53,56-59].

Regarding the ductility (ϵ_t) the results indicate that the higher the amount of GNP in the HDPE matrix, the higher the ductility, as one can see in Figure 9. This could be associated with the voids in the HDPE matrix around the GNPs due to the low compatibility between them, as well as with the agglomeration of the GNP in the HDPE matrix [59]. These features cause a decrease in the GNPs' superficial area, hence the load transmission through the matrix

decreases with the increase of added GNP fraction.

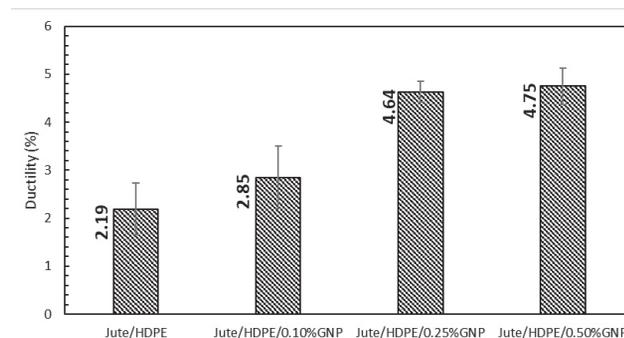


Figure 9: Results of ductility (ϵ_t) for the nanocomposites.
Source: Author (2023).

As seen in Figure 9, some relatively higher values of the standard deviation may cast doubt on the possible differences between the average values of the listed properties. In order to evaluate if there was a significant difference between the tensile results, within the groups of each property, the (ANOVA) and Tukey test were performed.

For ductility, F-calculated (43.90) is higher than F-critic (3.10), which guarantees that the average values are different with 95% of confidence. Then, the Tukey test was performed in order to identify what composites presented the most significant difference and the result of the test is presented in Table 4.

	Jute/HDPE	Jute/HDPE /0.10%GNP	Jute/HDPE /0.25%GNP	Jute/HDPE /0.50%GNP
Jute/HDPE	0.00	0.20	0.58	0.49
Jute/HDPE /0.10%GNP	0.20	0.00	0.38	0.29
Jute/HDPE /0.25%GNP	0.58	0.38	0.00	0.09
Jute/HDPE /0.50%GNP	0.49	0.29	0.09	0.00

Table 4: Tukey test for the results of ductility of the nanocomposites.
Source: Authors (2023).

The msd was calculated as 4.45, and then based on Table 4, with a 95% confidence level, the Jute/HDPE/0.50%GNP group is the one exhibiting the highest ductility in Figure 9. Moreover, one should notice that the Jute/HDPE and Jute/HDPE/0.25%GNP formulations also present a significant difference. However, the Jute/HDPE/0.25%GNP and Jute/HDPE/0.50%GNP are considered to be equal in relation to their average ductility values in Figure 9. Similarly, no significant difference is found for the ductility values between Jute/HDPE and Jute/HDPE/0.10%GNP nanocomposites. In

fact, this means that the GNP in the HDPE matrix does influence the ductility of the nanocomposites.

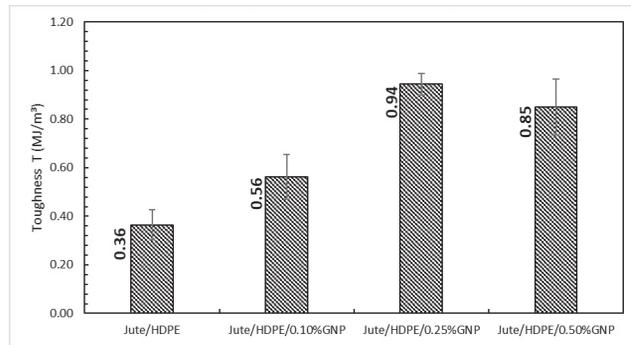


Figure 10: Results of toughness (T) for the nanocomposites.
Source: Authors (2023).

The toughness, as shown in Figure 10, is the energy needed to break the composite, and can be calculated from the area under the stress-strain curve or by the datasheet of the tensile test. One can notice an increase in the toughness with the increase of the GNP amount until 0.25 wt.%. In comparison to the Jute/HDPE (0.36 MJ/m³), the Jute/HDPE/0.10%GNP (0.56 MJ/m³) and Jute/HDPE/0.25%GNP (0.94 MJ/m³) presented significant enhancements of 56% and 161%, respectively. In practical terms, this result indicates that for the formulation of an ideal composite for engineering applications, such as ballistic protection, the amount of GNP has a limit of 0.25 wt.%.

Regarding the ANOVA for the values of toughness, F-calculated (51.86) is higher than F-critic (3.24), which means the average values of toughness cannot be considered equal with 95% of confidence. Consequently, the Tukey test was performed and the msd was calculated as 0.17. From the Tukey test, presented in Table 5, it is possible to affirm that the amount of GNP causes a significant change in the toughness.

	Jute/HDPE	Jute/HDPE /0.10%GNP	Jute/HDPE /0.25%GNP	Jute/HDPE /0.50%GNP
Jute/HDPE	0.00	0.20	0.58	0.49
Jute/HDPE /0.10%GNP	0.20	0.00	0.38	0.29
Jute/HDPE /0.25%GNP	0.58	0.38	0.00	0.09
Jute/HDPE /0.50%GNP	0.49	0.29	0.09	0.00

Table 5: Tukey test for the results of toughness of the nanocomposites.
Source: Authors (2023).

Furthermore, according to Han *et al.*, [59], at low fractions (<0.25 wt.%), fillers have much space to disperse and thus can achieve strong interactions with the matrix. Therefore, stress transferring and load sharing between the filler and matrix are improved. While at higher fractions, the fillers become swarming and aggregating so that clustering has a high chance to form. These aggregates act as stress amplifiers and hence cracks can be easily initiated [42].

3.5. SEM analysis

The morphology of HDPE and HDPE/GNP nanocomposite films, as well as the fracture mechanisms of the Jute/HDPE and Jute/HDPE/GNP composites, were observed using SEM analysis. The surface of the HDPE film is smooth, and uniform as shown in Figure 11a. The HDPE/0.10%GNP film, shown in Figure 11b, has some GNP agglomerates that are protected by the HDPE matrix. The HDPE/0.25%GNP and HDPE/0.50%GNP films are depicted in Figure 11c and d, respectively.

The size and quantity of the agglomerate groups grow as the filler content rises, resulting in a drawback between the GNPs' content and their reinforcing function. Additionally, there are no visible spaces between the HDPE matrix and the GNPs, indicating good GNP-polymer melt bonding. For this reason, the state of dispersion in the specimens indicates that a good interaction of the GNPs with the polymer matrix was achieved [60]. According to Figure 11, the surface of nanocomposites becomes rougher as the GNP concentration rises because the GNP aggregates present greater dimensions.

The deformation mechanisms of Jute/HDPE and Jute/HDPE/GNP nanocomposites includes deformation bands, crazing, tearing, fibrillation of the matrix, and fiber rupture. Figure 12 shows the failure surface of Jute/HDPE and Jute/HDPE/GNP nanocomposites after tensile tests.

Figure 12a displays the typical shear band morphology and fracture features of Jute/HDPE. The fracture mechanism for Jute/HDPE composites differs from the Jute/HDPE/GNP nanocomposites. Fibrillation is a part of the tearing process, as seen in Figure 12b, as a result of significant localized plastic deformation. Additionally, SEM micrographs of nanocomposite materials containing 0.10 wt.% GNPs show the presence of voids and the beginning of cracks from these voids. In this case, polymeric fibrils stabilize the

voids [60].

In the fracture mechanism of HDPE nanocomposites filled with GNPs at high filler contents, i.e., > 0.25 wt.%, the

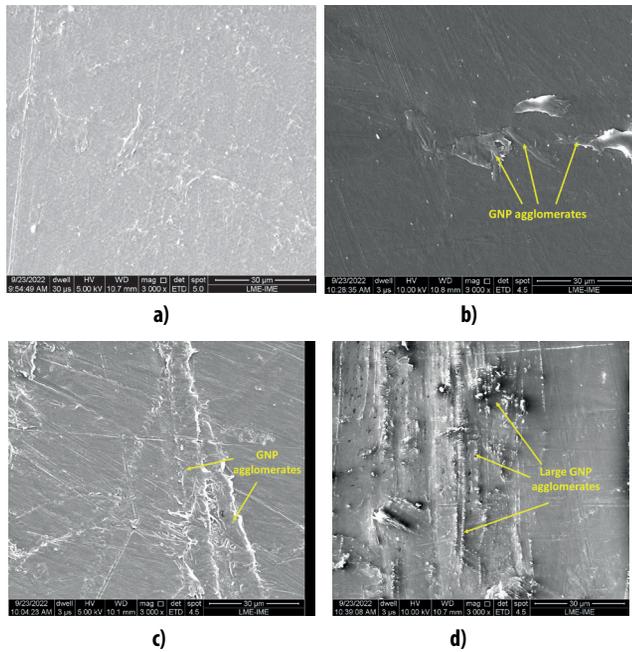


Figure 11: SEM images of surfaces of as-produced. (a) HDPE, (b) HDPE/0.10%GNP, (c) HDPE/0.25%GNP, and (d) HDPE/0.50%GNP nanocomposite films..

Source: Authors (2023).

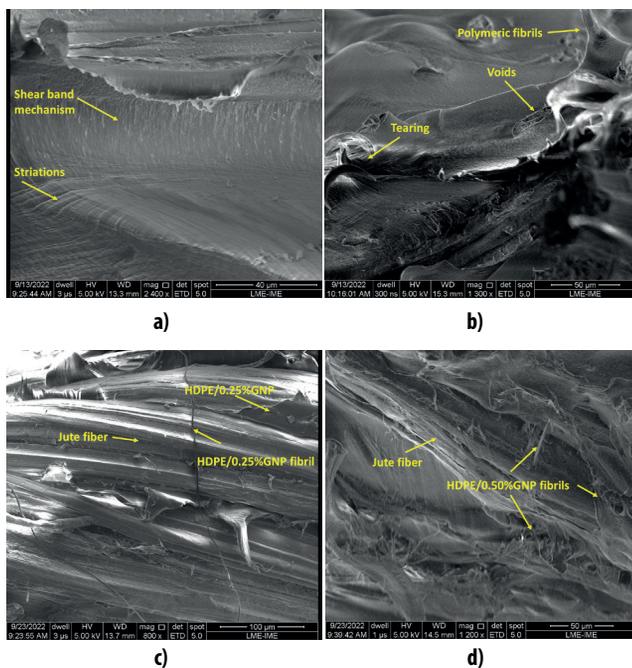


Figure 12: Fractured specimens of (a) Jute/HDPE, (b) Jute/HDPE/0.10%GNP, (c) Jute/HDPE/0.25%GNP, (d) Jute/HDPE/0.50%GNP.

Source: Authors (2023).

percentage of fibrillation and tearing increases with increasing agglomeration diameter. The fracture surfaces of the Jute/HDPE/0.25%GNP and Jute/HDPE/0.50%GNP nanocomposites are shown in Figure 12c and d.

One can see in those figures that the HDPE/GNP matrix was warped in between the jute fabric's fibers. This shows that the HDPE and HDPE/GNP matrices had strong adherence to the jute fabric and filled all gaps between the fabric layers. SEM analysis confirmed that shear banding is the mechanism that governs ductile fracture in Jute/HDPE composites, whereas fibrillation fracture is the mechanism for Jute/HDPE/GNP nanocomposites with larger diameter sizes and GNP contents [60].

CONCLUSIONS

In the present work, the mechanical and flexural performance of novel graphene nanoplatelets (GNP)-reinforced high-density polyethylene nanocomposites reinforced with jute fabric was examined for the first time. In comparison to the Jute/high-density polyethylene (HDPE), the flexural modulus (1,796.19 MPa), ductility (4.64%), and toughness (0.94 MJ/m³) of the Jute/HDPE/0.25%GNP, respectively increased by 38%, 112%, and 161%. Several natural fiber composites with higher GNP contents or thermoset matrices, described in the literature, were found to be inferior in this combination of properties.

The contribution of GNPs was analyzed by XRD, HR-TEM, and SEM, highlighting their structures and morphologies. According to HR-TEM analysis, GNPs are monocrystalline structures that take on a variety of sizes, forms, and configurations when they are aggregated. However, they always exhibit sheet morphologies with nanometric thicknesses. Additionally, the HDPE/GNP films' XRD spectra show that the GNPs perform as a nucleating agent for the crystalline phase of the HDPE matrix.

The fracture mechanisms found in Jute/HDPE composites reveal the characteristic shear band deformation of the HDPE matrix. However, when the content of GNP increases in the matrix, the fracture mechanism changes to a more complex combination of fibrillation with tearing and voids. The results presented herein corroborate the novel Jute/HDPE/0.25%GNP nanocomposite as a promising type of composite for engineering applications.

REFERÊNCIAS

- NURAZZI, N. M., ASYRAF, M. R. M., FATIMAH ATHIYAH, S., SHAZLEEN, S. S., RAFIQAH, S. A., HARUSSANI, M. M., ... & KHALINA, A. A review on mechanical performance of hybrid natural fiber polymer composites for structural applications. **Polymers**, 13(13), 2170. 2021.
- SATHISH, S., KARTHI, N., PRABHU, L., GOKULKUMAR, S., BALAJI, D., VIGNESHKUMAR, N., ... & DINESH, V. P. A review of natural fiber composites: Extraction methods, chemical treatments and applications. **Materials Today: Proceedings**, 45, 8017-8023. 2021.
- MONTEIRO, S. N., LOPES, F. P. D., BARBOSA, A. P., BEVITORI, A. B., SILVA, I. L. A. D., & COSTA, L. L. D. Natural lignocellulosic fibers as engineering materials—an overview. **Metallurgical and Materials Transactions A**, 42(10), 2963-2974. 2011.
- KANNAN, G., & THANGARAJU, R. Recent progress on natural lignocellulosic fiber reinforced polymer composites: A review. **Journal of Natural Fibers**, 1-32. 2021.
- OKOLIE, J. A., NANDA, S., DALAI, A. K., & KOZINSKI, J. A. Chemistry and specialty industrial applications of lignocellulosic biomass. **Waste and Biomass Valorization**, 12(5), 2145-2169. 2021.
- ASYRAF, M. R. M., ISHAK, M. R., NORRAHIM, M. N. F., NURAZZI, N. M., SHAZLEEN, S. S., ILYAS, R. A., ... & RAZMAN, M. R. Recent advances of thermal properties of sugar palm lignocellulosic fibre reinforced polymer composites. **International journal of biological macromolecules**, 193, 1587-1599. 2021.
- RANGAPPA, S. M., SIENGCHIN, S., PARAMESWARANPILLAI, J., JAWAID, M., & OZBAKKALOGLU, T. Lignocellulosic fiber reinforced composites: Progress, performance, properties, applications, and future perspectives. **Polymer Composites**, 43(2), 645-691. 2022.
- NAYAK, S., & KUMAR KHUNTIA, S. Development and study of properties of Moringa oleifera fruit fibers/polyethylene terephthalate composites for packaging applications. **Composites Communications**, 15, 113-119. 2019.
- YANG, J., CHING, Y. C., & CHUAH, C. H. Applications of lignocellulosic fibers and lignin in bioplastics: A review. **Polymers**, 11(5), 751. 2019.
- SINGH, B., & GUPTA, M. Natural fiber composites for building applications. In **Natural fibers, biopolymers, and biocomposites** (pp. 283-313). CRC Press. 2005.
- MOHAMMED, L., ANSARI, M. N., PUA, G., JAWAID, M., & ISLAM, M. S. (2015). A review on natural fiber reinforced polymer composite and its applications. **International journal of polymer science**, 2015.
- JOSHI, S. V., DRZAL, L. T., MOHANTY, A. K., & ARORA, S. Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites?. **Composites Part A: Applied science and manufacturing**, 35(3), 371-376. 2004.
- NURAZZI, N. M., ASYRAF, M. R. M., KHALINA, A., ABDULLAH, N., AISYAH, H. A., RAFIQAH, S. A., ... & SAPUAN, S. M. A review on natural fiber reinforced polymer composite for bullet proof and ballistic applications. **Polymers**, 13(4), 646. 2021.
- NAVEEN, J., JAYAKRISHNA, K., HAMEED SULTAN, M. T. B., & AMIR, S. M. M. Ballistic performance of natural fiber based soft and hard body armour—a mini review. **Frontiers in Materials**, 7, 608139. 2020.
- COSTA, U. O., NASCIMENTO, L. F. C., GARCIA, J. M., MONTEIRO, S. N., LUZ, F. S. D., PINHEIRO, W. A., & GARCIA FILHO, F. D. C. Effect of graphene oxide coating on natural fiber composite for multilayered ballistic armor. **Polymers**, 11(8), 1356. 2019.
- MONTEIRO, S. N., DRELICH, J. W., LOPERA, H. A. C., NASCIMENTO, L. F. C., DA LUZ, F. S., DA SILVA, L. C., ... & BEZERRA, W. B. A. Natural fibers reinforced polymer composites applied in ballistic multilayered armor for personal protection—an overview. **Green materials engineering**, 33-47. 2019.
- GARCIA FILHO, F. C., LUZ, F. S., OLIVEIRA, M. S., BEZERRA, W. B., BARBOSA, J. D., & MONTEIRO, S. N. Influence of rigid brazilian natural fiber arrangements in polymer composites: Energy absorption and ballistic efficiency. **Journal of Composites Science**, 5(8), 201. 2021.
- AMEER, H., AHMAD, S., NAWAB, Y., ALI, Z., & ULLAH, T. Natural fiber-reinforced composites for ballistic protection. In **Composite Solutions for Ballistics** (pp. 229-248). Woodhead.

ad Publishing. 2021.

GARCIA FILHO, F. D. C., OLIVEIRA, M. S., PEREIRA, A. C., NASCIMENTO, L. F. C., MATHEUS, J. R. G., & MONTEIRO, S. N. Ballistic behavior of epoxy matrix composites reinforced with piassava fiber against high energy ammunition. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(2), 1734-1741. 2020.

SIVA SANKAR, P., & SINGH, S. B. A Review of Natural Fiber Composites for Structural, Infrastructural and Ballistic Applications. *Emerging Trends of Advanced Composite Materials in Structural Applications*, 353-373. 2021.

GOWDA, T. M., NAIDU, A. C. B., & CHHAYA, R. Some mechanical properties of untreated jute fabric-reinforced polyester composites. *Composites Part A: applied science and manufacturing*, 30(3), 277-284. 1999.

HONAKER, K., VAUTARD, F., & DRZAL, L. T. Investigating the mechanical and barrier properties to oxygen and fuel of high density polyethylene-graphene nanoplatelet composites. *Materials Science and Engineering: B*, 216, 23-30. 2017.

WANG, Y., LIU, X., SHI, Z., LIN, Y., YANG, Y., YANG, Q., ... & LAN, T. Rheological Behavior of High Density Polyethylene (HDPE) Filled with Corn Stalk Biochar. *ChemistrySelect*, 6(38), 10418-10428. 2021.

AJI, I. S., ZAINUDIN, E. S., KHALINA, A., SAPUAN, S. M., & KHAIRUL, M. D. Studying the effect of fiber size and fiber loading on the mechanical properties of hybridized kenaf/PALF-reinforced HDPE composite. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 30(6), 546-553. 2011.

SALLEH, F. M., HASSAN, A., YAHYA, R., & AZZAHARI, A. D. Effects of extrusion temperature on the rheological, dynamic mechanical and tensile properties of kenaf fiber/HDPE composites. *Composites Part B: Engineering*, 58, 259-266. 2014.

EL-ZAYAT, M. M., ABDEL-HAKIM, A., & MOHAMED, M. A. Effect of gamma radiation on the physico mechanical properties of recycled HDPE/modified sugarcane bagasse composite. *Journal of Macromolecular Science, Part A*, 56(2), 127-135. 2019.

VASU, A., REDDY, C., DANABOYINA, S., MANCHALA, G., &

CHAVALI, M. The Improvement in mechanical properties of coconut shell powder as filter in HDPE composites. *J. Polym. Sci. Appl*, 1(2), 2-7. 2017.

CHANDEKAR, H., CHAUDHARI, V., & WAIGAONKAR, S. A review of jute fiber reinforced polymer composites. *Materials Today: Proceedings*, 26, 2079-2082. 2020.

SONG, H., LIU, J., HE, K., & AHMAD, W. A comprehensive overview of jute fiber reinforced cementitious composites. *Case Studies in Construction Materials*, 15, e00724. 2021.

GOGNA, E., KUMAR, R., SAHOO, A. K., & PANDA, A. A comprehensive review on jute fiber reinforced composites. *Advances in industrial and production engineering*, 459-467. 2019.

SINGH, H., SINGH, J. I. P., SINGH, S., DHAWAN, V., & TIWARI, S. K. A brief review of jute fibre and its composites. *Materials Today: Proceedings*, 5(14), 28427-28437. 2018.

YASHAS GOWDA, T. G., SANJAY, M. R., SUBRAHMANYA BHAT, K., MADHU, P., SENTHAMARAIKANNAN, P., & YOGESHA, B. Polymer matrix-natural fiber composites: An overview. *Cogent Engineering*, 5(1), 1446667. 2018.

KHAN, M. A., RAHAMAN, M. S., AL-JUBAYER, A., & ISLAM, J. M. M. Modification of jute fibers by radiation-induced graft copolymerization and their applications. *Cellulose-Based Graft Copolymers: Structure and Chemistry*; Thakur, VK, Ed, 209-235. 2015.

HUSSAIN, S. A., PANDURANGADU, V., & PALANIKUAMR, K. Mechanical properties of green coconut fiber reinforced HDPE polymer composite. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 3(11), 7942-7952. 2011.

GENG, Y., WANG, S. J., & KIM, J. K. Preparation of graphite nanoplatelets and graphene sheets. *Journal of colloid and interface science*, 336(2), 592-598. 2009.

EVGIN, T., TURGUT, A., HAMAOU, G., SPITALSKY, Z., HORN, N., MICUSIK, M., ... & OMASTOVA, M. Size effects of graphene nanoplatelets on the properties of high-density polyethylene nanocomposites: morphological, thermal, electrical, and mechanical characterization. *Beilstein journal of nanotechnology*, 11(1), 167-179. 2020.

- HOPE, J. T., SUN, W., KEWALRAMANI, S., SAHA, S., LAKHE, P., SHAH, S. A., ... & HULE, R. A. Scalable production of graphene nanoplatelets for energy storage. *ACS Applied Nano Materials*, 3(10), 10303-10309. 2020.
- JEON, I. Y., BAE, S. Y., SEO, J. M., & BAEK, J. B. Scalable production of edge-functionalized graphene nanoplatelets via mechanochemical ball-milling. *Advanced Functional Materials*, 25(45), 6961-6975. 2015.
- LI, B., & ZHONG, W. H. Review on polymer/graphite nanoplatelet nanocomposites. *Journal of materials science*, 46(17), 5595-5614. 2011.
- CATALDI, P., ATHANASSIOU, A., & BAYER, I. S. Graphene nanoplatelets-based advanced materials and recent progress in sustainable applications. *Applied Sciences*, 8(9), 1438. 2018.
- ESCOCIO, V. A., VISCONTE, L. L., CAVALCANTE, A. D. P., FURTADO, A. M. S., & PACHECO, E. B. Study of mechanical and morphological properties of bio-based polyethylene (HDPE) and sponge-gourds (*Luffa-cylindrica*) agroresidue composites. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1664, No. 1, p. 060012). AIP Publishing LLC. 2015.
- TOMASI TESSARI, B., VARGAS, N., RODRIGUES DIAS, R., MIRANDA PEREIRA, I., ROSSA BELTRAMI, L. V., LAVORATTI, A., ... & ZATTERA, A. J. Influence of the addition of graphene nanoplatelets on the ballistic properties of HDPE/aramid multi-laminar composites. *Polymer-Plastics Technology and Materials*, 61(4), 363-373. 2022.
- ASTM International. Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials; D3039/D3039M – 17; ASTM International: West Conshohocken, PA, USA. 2017.
- ASTM International. Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials; D790 – 17; ASTM International: West Conshohocken, PA, USA. 2017.
- WANG, G., YANG, J., PARK, J., GOU, X., WANG, B., LIU, H., & YAO, J. Facile synthesis and characterization of graphene nanosheets. *The Journal of Physical Chemistry C*, 112(22), 8192-8195. 2008.
- SUJITH, R., CHAUHAN, P. K., GANGADHAR, J., & MAHESHWARI, A. Graphene nanoplatelets as nanofillers in mesoporous silicon oxycarbide polymer derived ceramics. *Scientific reports*, 8(1), 1-9. 2018.
- ARMUGAM, A., HOSAKOPPA S, N., & HOLAVANAHALLI DO-RAISWAMY, S. Enhanced corrosion resistance of atmospheric plasma-sprayed zirconia-GNP composite by graphene oxide nanoplatelet encapsulation. *Applied Physics A*, 126(8), 1-12. 2020.
- WANG, F., & DRZAL, L. T. Development of stiff, tough and conductive composites by the addition of graphene nanoplatelets to polyethersulfone/epoxy composites. *Materials*, 11(11), 2137. 2018.
- GUERRA, V., WAN, C., DEGIRMENCI, V., SLOAN, J., PRESVYTIS, D., WATSON, M., & MCNALLY, T. Characterisation of graphite nanoplatelets (GNP) prepared at scale by high-pressure homogenisation. *Journal of Materials Chemistry C*, 7(21), 6383-6390. 2019.
- XIANG, D., WANG, L., TANG, Y., ZHAO, C., HARKIN-JONES, E., & LI, Y. Effect of phase transitions on the electrical properties of polymer/carbon nanotube and polymer/graphene nanoplatelet composites with different conductive network structures. *Polymer International*, 67(2), 227-235. 2018.
- HONAKER, K., VAUTARD, F., & DRZAL, L. T. Influence of processing methods on the mechanical and barrier properties of HDPE-GNP nanocomposites. *Advanced Composites and Hybrid Materials*, 4(3), 492-504. 2021.
- SARKER, F., KARIM, N., AFROJ, S., KONCHERRY, V., NOVOSILOV, K. S., & POTLURI, P. High-performance graphene-based natural fiber composites. *ACS applied materials & interfaces*, 10(40), 34502-34512. 2018.
- PAPAGEORGIU, D. G., KINLOCH, I. A., & YOUNG, R. J. Mechanical properties of graphene and graphene-based nanocomposites. *Progress in Materials Science*, 90, 75-127. 2017.
- MOHANTY, S., & NAYAK, S. K. Mechanical and rheological characterization of treated jute-HDPE composites with a different morphology. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 25(13), 1419-1439. 2006.
- GUPTA, M. K., SRIVASTAVA, R. K., & BISARIA, H. Potential of

jute fibre reinforced polymer composites: a review. *Int. J. Fiber Text. Res.*, 5(3), 30-38. 2015.

RAFIEE, M. A., RAFIEE, J., WANG, Z., SONG, H., YU, Z. Z., & KORATKAR, N. Enhanced mechanical properties of nanocomposites at low graphene content. *ACS nano*, 3(12), 3884-3890. 2009.

SHEN, X. J., LIU, Y., XIAO, H. M., FENG, Q. P., YU, Z. Z., & FU, S. Y. The reinforcing effect of graphene nanosheets on the cryogenic mechanical properties of epoxy resins. *Composites Science and Technology*, 72(13), 1581-1587. 2012.

CHIENG, B. W., IBRAHIM, N. A., WAN YUNUS, W. M. Z., HUSSEIN, M. Z., & LOO, Y. Y. Effect of graphene nanoplatelets as nanofiller in plasticized poly (lactic acid) nanocomposites. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 118(3), 1551-1559. 2014.

HAN, S., MENG, Q., QIU, Z., OSMAN, A., CAI, R., YU, Y., ... & ARABY, S. Mechanical, toughness and thermal properties of 2D material-reinforced epoxy composites. *Polymer*, 184, 121884. 2019.

TARANI, E., CHRYSAFI, I., KÁLLAY-MENYHÁRD, A., PAVLIDOU, E., KEHAGIAS, T., BIKIARIS, D. N., ... & CHRISAFIS, K. Influence of graphene platelet aspect ratio on the mechanical properties of HDPE nanocomposites: Microscopic observation and micromechanical modeling. *Polymers*. 12(8). 2020.

Record of authorship contribution:

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

Conceptualization, data curation, investigations, and methodology, U.O.C. and L.F.C.N.;

Formal analysis, validation, writing—original draft preparation, writing—review and editing, U.O.C. and S.N.M.;

Testing preparation, data analysis, writing—paper, U.O.C. and L.F.C.N.;

Performance of tests, N.R.C.H. and U.O.C.;

Formal analysis validation and visualization, W.B.A.B. and W.A.P.;

Funding acquisition, writing review, and editing, S.N.M.

All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

FUNDING

This research received no external funding.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank the support to this investigation by the Brazilian agencies: CNPq, CAPES and FAPERJ. As well as the UCSGraphene for providing the Graphene nanoplatelets.

DATA AVAILABILITY STATEMENT

All data underlying the results are available as part of the article and no additional source data are required.

AUTHORS

Orcid: 0000-0002-3844-1536

ULISSES OLIVEIRA COSTA, Master | Military Institute of Engineering - IME | Materials Science | Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (RJ) - Brazil | Correspondence to: (Praça Gen. Tibúrcio, 80, Urca, Rio de Janeiro-RJ, 22290-270) | E-mail: ulissesolie@ime.eb.br

Orcid: 0000-0002-5463-7299

WENDELL BRUNO ALMEIDA BEZERRA, Doctor | Military Institute of Engineering - IME | Materials Science | Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (RJ) - Brazil | Correspondence to: (Praça Gen. Tibúrcio, 80, Urca, Rio de Janeiro-RJ, 22290-270) | E-mail: wendellbez@gmail.com

Orcid: 0000-0002-8898-2584

NOEMI RAQUEL CHECCA HUAMAN, Doctor | Brazilian Center for Physics Research, CBPF | Eletronic Microscopy | Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (RJ) - Brasil | Correspondence to: (Dr. Xavier Sigaud, 150, Urca, Rio de Janeiro-RJ, 22290-180) | E-mail: noemiraquelchecca@gmail.com

Orcid: 0000-0003-1208-1234

SERGIO NEVES MONTEIRO, PhD | Military Institute of Engineering - IME | Materials Science | Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (RJ) - Brazil | Correspondence to: (Praça Gen. Tibúrcio, 80, Urca, Rio de Janeiro-RJ, 22290-270) | E-mail:

snevesmonteiro@gmail.com

Orcid: 0000-0003-0560-528X

WAGNER ANACLETO PINHEIRO, Doctor | Military
Institute of Engineering - IME| Materials Science | Rio de
Janeiro, Rio de Janeiro (RJ) - Brazil | Correspondence to:
(Praça Gen. Tibúrcio, 80, Urca, Rio de Janeiro-RJ, 22290-
270) | E-mail: anacleto@ime.eb.br

Orcid: 0000-0003-0560-528X

LUCIO FABIO CASSIANO NASCIMENTO, Doctor |
Military Institute of Engineering - IME| Materials Science
| Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (RJ) - Brazil | Correspon-
dence to: (Praça Gen. Tibúrcio, 80, Urca, Rio de Janeiro-RJ,
22290-270) | E-mail: lucio@ime.eb.br

HOW TO CITE THIS ARTICLE

COSTA, Ulisses Oliveira; BEZERRA, Wendell Bruno Almeida;
HUAMAN, Noemi Raquel Checca; MONTEIRO, Sergio
Neves; PINHEIRO, Wagner Anacleto; NASCIMENTO, Lucio
Fabio Cassiano. Mechanical Behavior Of High-density
Polyethylene Reinforced With Graphene Nanoplatelets
And Jute Fabric. **MIX Sustentável**, [S.l.], v. 9, n. 3, p. 50-
65, julho. 2023. ISSN 24473073. Disponível em:<[http://
www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel](http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel)>. Acesso
em: dia mês. ano. doi:[https://doi.org/10.29183/2447-3073.
MIX2023.v9.n3.50-65](https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n3.50-65).

SUBJECTED IN: 31/12/2022

ACCEPTED IN: 25/03/2023

PUBLISHED IN: XX/07/2023

RESPONSIBLE EDITORS: Aguinaldo dos
Santos e Paulo Cesar Machado Ferroli

ACV DE MATERIAIS CIMENTÍCIOS SUPLEMENTARES E AGREGADOS RECICLADOS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

LCA OF SUPPLEMENTARY CEMENTITIOUS MATERIALS AND RECYCLED AGREGGATES: A SYSTEMATIC REVIEW

ACV DE MATERIALES CEMENTANTES SUPLEMENTARIOS Y ÁRIDOS RECICLADOS: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

LIDIANNE DO NASCIMENTO FARIAS, M.SC. | UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.

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

LUCAS ROSSE CALDAS, DR. | UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.

ROMILDO DIAS TOLEDO FILHO, DR. | UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo realizar uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) sobre a avaliação dos impactos ambientais por decorrentes do uso de Materiais Cimentícios Suplementares (MCS) e Agregado Reciclado (AR) em materiais de construção, por meio da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). A metodologia consistiu na busca de documentos científicos sobre ACV para a avaliação de concretos e argamassas que empregam MCS e AR, nas bases de dados Scopus e Web of Science, período de 2015 e 2021. Os resultados mostram que estudos adotam uma fronteira do sistema berço ao portão, atribuindo-se que é o mais representativo. Para realizar a ACV, dados secundários são utilizados, principalmente bancos de dados (Ecoinvent e ELCD). O Potencial de Aquecimento Global é a categoria de impacto comum, seguido por Potencial de Depleção Abiótica e Potencial de Acidificação. Os métodos utilizados quantificam apenas os efeitos intermediários das categorias de impacto; esta etapa é assistida pelos programas Simapro e OpenLCA, preferencialmente. Os estudos mostraram que o uso de MCS e AR conseguem reduzir os impactos ambientais dos concretos e argamassas avaliadas, mas a redução é maior quando ambos são usados ao mesmo tempo do que quando usados separadamente.

PALAVRAS-CHAVE

Impactos ambientais; Ciclo de Vida; Argamassas.

ABSTRACT

This study aims to carry out a Systematic Literature Review (SLR) on the assessment of environmental impacts resulting from the use of Supplementary Cement Materials (SCM) and Recycled Aggregate (RA) in construction materials, through the methodology of Evaluation of the Life Cycle (LCA). The methodology consisted of searching for scientific documents on LCA for the evaluation of concretes and mortars that use SCM and RA, in the Scopus and Web of Science databases, from 2015 to 2021. The results show that studies adopt a border of the cradle system to the gate, claiming that it is the most representative. To perform the LCA, secondary data are used, mainly databases (Ecoinvent and ELCD). Global Warming Potential is the common impact category, followed by Abiotic Depletion Potential and Acidification Potential. The methods used quantify only the intermediate effects of the impact categories; this step is preferably assisted by Simapro and OpenLCA programs. Studies have shown that the use of MCS and AR can reduce



the environmental impacts of the evaluated concretes and mortars, but the reduction is greater when both are used at the same time than when used separately.

KEYWORDS

Environmental impacts; Life Cycle; Mortars.

RESUMEN

Este estudio tiene como objetivo realizar una Revisión Sistemática de la Literatura (RSL) sobre la evaluación de impactos ambientales derivados del uso de Materiales Suplementarios de Cemento (MSC) y Agregado Reciclado (AR) en materiales de construcción, a través de la metodología de Evaluación del Ciclo de Vida (ECV). La metodología consistió en la búsqueda de documentos científicos sobre ECV para la evaluación de hormigones y morteros que utilizan MSC y AR, en las bases de datos Scopus y Web of Science, de 2015 a 2021. Los resultados muestran que los estudios adoptan una frontera del sistema cuna para la puerta, indicándose que es la más representativa. Para realizar la ECV se utilizan datos secundarios, principalmente bases de datos (Ecoinvent y ELCD). El Potencial de Calentamiento Global es la categoría de impacto común, seguida por el Potencial de Agotamiento Abiótico y el Potencial de Acidificación. Los métodos utilizados cuantifican únicamente los efectos intermedios de las categorías de impacto; este paso es asistido por los programas Simapro y OpenLCA, preferencialmente. Los estudios han demostrado que el uso de MSC y AR pueden reducir los impactos ambientales de los hormigones y morteros evaluados, pero la reducción es mayor cuando se usan ambos al mismo tiempo que cuando se usan por separado.

PALABRAS CLAVE

Impactos ambientales; Ciclo de vida; Morteros.



1. INTRODUÇÃO

A construção civil é uma das indústrias que mais impactam negativamente o meio ambiente, com a emissão de gases de efeito estufa (GEE) e o consumo de recursos naturais. Neste sentido, surge a demanda e o desenvolvimento de materiais de construção mais sustentáveis (HOSSAIN et al., 2018). A incorporação de resíduos aos materiais cimentícios tem se mostrado como uma contribuição para ampliação do consumo consciente na construção civil e, como interesse comercial, pode resultar na fabricação de novos materiais e dar destino e valor a materiais que até então seriam descartados. Materiais Cimentícios Suplementares (MCS) como escória de alto forno, sílica ativa e cinza volante, encontrados a partir de resíduos provenientes de outras indústrias, são altamente comercializados servindo como substituição parcial ao cimento e concreto na indústria da construção civil, para, além de proporcionar propriedades mais satisfatórias, reduzir o impacto ambiental causado pelos mesmos (LIMA et al., 2017). Outro plano de reaproveitamento é a utilização de Agregados Recicladados (AR) na produção de concretos e argamassas (KURDA et al., 2018; ZHANG et al., 2019a).

Com um vasto impacto ambiental, o concreto é o segundo material mais utilizado no mundo, com um consumo anual que chega a 6,5 bilhões de toneladas (VIEIRA et al., 2016) e se encontra em primeiro lugar como material de construção mais utilizado (ZHANG et al., 2019b). Dessa forma, buscar novas matérias-primas que possam substituir o usual cimento Portland e agregados (areia e brita), mostra ser cada vez mais importante. A começar pela indústria do cimento, componente-chave na produção de concretos, ela é causadora de impactos globais devido principalmente a sua grande emissão de gases de efeito estufa (GEE), dentre eles o dióxido de carbono (CO₂), além de propor esgotamento de recursos não-renováveis e alto gasto de energia (HOSSAIN et al., 2018).

A alta demanda de agregados para produção de concretos também pode trazer como consequência a escassez de matéria-prima ou distâncias cada vez maiores de transporte, com jazidas afastadas dos centros urbanos. Desse modo, para que haja redução do consumo de agregados naturais, a alternativa escolhida é a utilização de AR. Em correlação com a preocupação da destinação correta para os resíduos de construção e demolição (RCD), representativo por sua grande quantidade, com estimativa de mais 50% nas cidades brasileiras, de acordo com os dados da ABRELPE (2020), também se torna uma estratégia produzir AR a partir desses resíduos. Segundo Lima

et al. (2017), os AR, como os produzidos a partir de RCD, passaram a ser mais utilizados devido às características mineralógicas semelhantes às dos agregados naturais, entretanto, estudos prévios devem ser realizados para a garantia do desempenho dos materiais cimentícios.

A abordagem da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) se torna ideal para identificação de parâmetros atribuídos à utilização de MCS e AR inseridos no processo construtivo, pois demonstra ser uma ferramenta útil de análise de (novos) materiais em termos de desempenho ambiental do ciclo de vida em todo o processo, desde a origem da matéria-prima até o seu fim de vida (COLANGELO et al., 2018; HOSSAIN et al., 2018).

Nesse sentido, diversos estudos apresentam a metodologia ACV para determinar os impactos ambientais de concretos e argamassas, utilizando tanto MCS quanto AR. Adicionalmente, nestes estudos, foi demonstrado que o cimento é o principal contribuinte para a maioria dos impactos ambientais e que a sua substituição parcial por MCS, juntamente com a utilização de AR, pode reduzir significativamente os impactos ambientais (BRAGA et al., 2017; ROSADO et al., 2017).

Desse modo, baseado na busca de materiais que proporcionam consumo mais baixo de energia e menor impacto ao meio ambiente, diversos estudos empregaram a metodologia de ACV. Não obstante, têm mostrado que ainda existem limitações e problemas na aplicação da metodologia de ACV e ainda existe uma lacuna científica sobre a avaliação conjunta desses dois tipos de materiais (MCS e AR) em materiais de construção. Diante do contexto, o objetivo deste trabalho é identificar o alcance da metodologia de ACV em materiais de construção com o emprego de MCS e AR por meio de uma revisão bibliográfica de artigos publicados em periódicos internacionais de grande relevância entre os anos de 2015 e 2021.

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

No presente estudo foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) seguindo as recomendações propostas por Fink (2013). Foram realizadas buscas em bases de dados por artigos científicos publicados entre os principais periódicos internacionais.

Para a realização do trabalho, foram consideradas as bases científicas da Scopus e Web of Science (WoS) para compilar os trabalhos, esses preferencialmente em inglês.

Como o intuito do trabalho foi determinar os principais estudos do impacto ambiental dos MCS e AR por meio da ACV, foram definidas palavras-chave em inglês

que serviram para a busca dos artigos. Os termos de busca utilizados foram: Life Cycle Assessment (LCA), Supplementary Cementitious Materials (SCM), Recycled Aggregate (RA) e suas respectivas siglas, realizando a busca em Título, Resumo e Palavras-chave. O Quadro 01 resume os critérios utilizados na busca dos estudos para a revisão e apresenta os questionamentos da pesquisa.

Sendo o principal objetivo deste estudo identificar o alcance da metodologia de ACV em materiais de construção com o uso de MCS e AR, a busca 3 (B3) foi priorizada.

Encontradas as publicações relacionadas ao campo

de estudo, foram verificados o título e o resumo, a fim de identificar as publicações mais relevantes e descartar aquelas que não se enquadram no objetivo da pesquisa. Para isso, foi utilizado o critério de avaliação de qualidade proposto por Dabous e Feroz (2020) e as pesquisas foram consideradas conforme clareza e metodologia do estudo, credibilidade do estudo, robustez da pesquisa e qualidade do estudo. Também foram utilizadas algumas ferramentas de análise como, por exemplo: SankeyMATIC que gerou o diagrama de Sankey.

Filtro de pesquisa	Critério
Base	Scopus - Web of Science
Tipo de documento	Artigo de revista científica
Idioma	Inglês
Busca em Título, Resumo e Palavras-chave	<ul style="list-style-type: none"> B1 - ("LCA" OR "Life Cycle Assessment") AND ("SCM" OR "Supplementary Cementitious Materials") B2 - ("LCA" OR "Life Cycle Assessment") AND ("RA" OR "Recycled Aggregate"). B3 - ("LCA" OR "Life Cycle Assessment") AND ("SCM" OR "Supplementary Cementitious Materials") AND ("RA" OR "Recycled Aggregate").
Período de análise	Entre os anos 2015 – 2021
Questionamentos de pesquisa	<ul style="list-style-type: none"> Qual tem sido o alcance da metodologia ACV de MCS; AR e MCS e AR (conjunto) em aplicações na construção civil? Quais os países e periódicos que mais publicam esse tipo de pesquisa? Quanto aos aspectos metodológicos de ACV, como métodos de impacto, fronteira do estudo, categorias de impacto ambiental, entre outros, quais são as tendências? O uso de MCS e AR reduzem os impactos ambientais de materiais cimentícios? É possível identificar lacunas de conhecimento para o estudo de ACV de MCS e AR?

Quadro 1: Critérios de pesquisa.

Fonte: Autores.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Aspectos gerais

Esta RSL resume os principais estudos de ACV realizados em MCS e RA para a produção de materiais de construção à base de cimento, especialmente na produção de concretos e argamassas (Figura 01 e Quadro 02). Dos 28 estudos, 12 consideram MCS e AR, 10 MCS e apenas 6 AR. Observa-se que o MCS mais utilizado é a Cinza Volante (CV), 50% (14/28) dos estudos, seguido de Escória Granulada de Alto Forno (EGAF), 14,28% (4/28) e Sílica Ativa (SA), 7,14% (2/28), mas em menor proporção, sendo que diferentes MCS são

utilizados em outros estudos, como resíduos de biomassa e de cerâmica.

Em relação à aplicação, observou-se que, em sua maioria, foi concreto, com 57,14% (16/28) e, considerando o seu uso para blocos foi 10,71% (3/28). Aplicações em argamassas, cimento, terra estabilizada e agregados também foram relatadas, mas apenas em 32,14% dos estudos (9/28).

A Figura 02 mostra os países de origem das pesquisas, onde Portugal se destaca com a maioria das publicações, 17,86% (5/28), seguido da China com 14,29% (4/28) e Austrália com 10,71% (3/28). Os maiores avanços e aplicações da ACV para o tema estudado são dados pelo continente europeu, seguido pela Ásia, América e Oceania. A

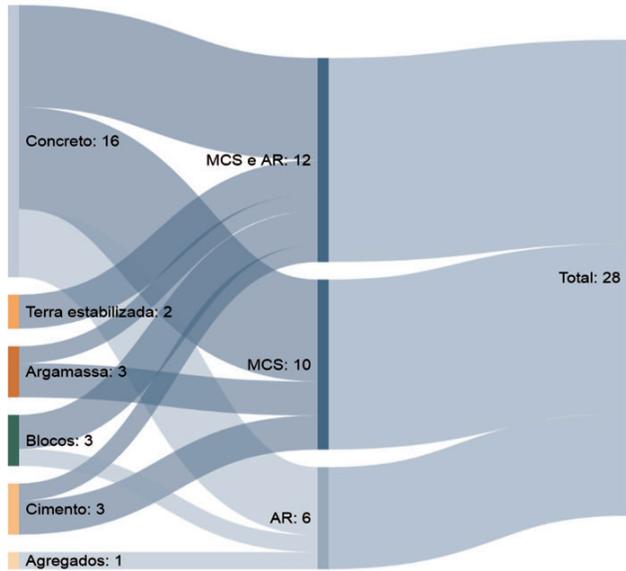


Figura 1: - Resumo e aplicação dos estudos.
Fonte: Autores.

Autores	Materiais		Aplicações
	MCS*	Agregado	
Lee et al. (2021)	EGAF, CV	-	Concreto binário
Lo et al. (2021)	CVC, CIC, CCA	-	Concreto permeável
De Souza et al. (2021)	EGAF, CV, CCA, CBC, RPPO	AR	Concreto
Zhou et al. (2021)	Sedimento Bruto de Engenharia	-	Argamassa
Roh et al. (2020)	-	AR	Concreto
Caldas et al. (2021)	Metacaulim, CV	-	Bioconcreto de madeira
Sabau et al. (2021)	-	AR	Concreto
Guo et al. (2020)	-	AR	Blocos de concreto
Hossain et al. (2020)	SMC, CVIRSU, CVP, EGAF, CLEI, PV	AR	Materiais de preenchimento e blocos
Meek et al. (2021)	CV, SA, EGAF, Cal Hidratada	AR	Materiais de terra compactada
Moreno-Juez et al. (2020)	Concreto Reciclado Ultrafino	-	Cimento/Argamassa
Moro et al. (2020)	Nanopartículas de TiO2	AR	Argamassa
Visintin et al. (2020)	-	AR	Concreto
Kurda et al. (2020)	CV	AR	Concreto
Fořt e Černý (2020)	Tijolos residuais em pó e álcali ativado	AR	Cimento/Blocos/AR
Li et al. (2019)	PC, TD	-	Argamassa/Concreto
Zhang et al. (2019b)	CV, SA	-	Concreto
Kurda et al. (2018)	CV	AR	Concreto
Arrigoni et al. (2018)	CV	AR	Materiais de terra estabilizada
Borghini et al. (2018)	-	AR	AR Mistos
Marinkovic et al. (2017)	CV, CV ativada por álcali	AR	Concreto
Hossain et al. (2017)	Resíduo de Lama de Concreto	AR	Blocos de concreto
Robayo-Salazar et al. (2017)	Resíduo de Tijolo de Argila Vermelha	-	Cimento/Argamassa
Kurda et al. (2017)	CV	AR	Concreto
Braga et al. (2017)	-	AR	Concreto
Suárez et al. (2016)	Gesso Reciclado	-	Cimento Portland
Teixeira et al. (2016)	CVC, CV de Biomassa	-	Concreto
Anastasiou et al. (2015)	CV Balcária	AR	Pavimento de concreto

*CV-Cinza Volante; SA-Sílica Ativa; EGAF-Escória Granulada de Alto Forno; CCA-Cinza de casca de arroz; CBC-Cinza de bagaço de Cana-de-açúcar; RPPO-Resíduos do Processamento de Pedras Ornamentais; CVC-Cinza Volante de Carvão; CIC-Cinza Inferior de Carvão; CLEI-Cinzas de Lodo de Esgoto Incineradas; CVP-Cinza Volante Pulverizada; PC-Pó de Calcário; TD-Terra Diatomácea; PV-Pó de Vidro; SMC-Sedimentos Marinhos Contaminados; CVIRSU-Cinzas Volantes de Incineração de Resíduos Sólidos Urbanos.

Quadro 2: Resumo dos estudos analisados.
Fonte: Autores.

Europa deve se destacar pelo fato de ser um continente com pouca área para a disposição final de resíduos e, portanto, onde a reutilização e reciclagem se faz necessária. Sendo que em alguns países, é permitido o emprego de AR para a produção de concretos estruturais, diferente do caso do Brasil. Os outros continentes (Ásia e América Latina) são os que mais cresceram nos últimos anos, compostos dos países considerados em desenvolvimento e que normalmente ainda possuem um elevado déficit habitacional e de infraestrutura. Esse crescimento pode levar a um incremento da geração de resíduos e ao mesmo tempo pode ser uma oportunidade para o destino desses resíduos em vez do descarte.

Quando analisadas as revistas científicas que fornecem estudos de ACV, o Journal of Cleaner Production se destaca com 42,86% (12/28), seguido por Resources, Conservation & Recycling e Construction and Building Materials, com 14,29% (4/28) e 10,71% (3/28), respectivamente. As duas primeiras revistas têm escopo mais geral, envolvendo questões relacionadas à sustentabilidade e possuem maior fator de impacto, o que pode explicar a preferência dos pesquisadores em publicar suas pesquisas nesses veículos.

A maioria das publicações pertence aos anos de 2020 e 2021 (53,57%), mostrando que o tema tem relevância nos últimos anos (Figura 03). No entanto, há um crescimento contínuo do número de publicações nos últimos cinco anos, conforme observado na metodologia.

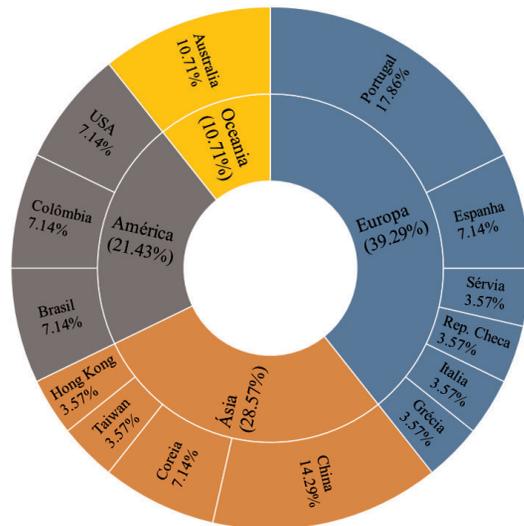


Figura 2: País de origem dos estudos.
Fonte: Autores.



Figura 2: Datas das publicações revisadas.

Fonte: Autores.

3.2. Aspectos metodológicos da ACV

A metodologia ACV consiste em avaliar, qualitativa e quantitativamente, os potenciais impactos ambientais e os recursos utilizados de um produto ao longo de seu ciclo de vida, incluindo desde a matéria-prima, produção, uso, manutenção, reciclagem e descarte. A metodologia também permite gerar estratégias para otimizar os materiais, a energia e o desempenho ambiental do sistema analisado (DOSSCHE et al., 2018).

Existem diferentes normativas que fornecem diretrizes, estrutura, terminologia e fases metodológicas (ISO, 2006a, 2006b; European Committee for Standardization, 2012). Geralmente, estudos de ACV compreendem quatro fases: (1) Definição de objetivo e escopo; (2) Análise do Inventário de Ciclo de Vida (ICV); (3) do Impacto do Ciclo de Vida (AICV) e (4) Interpretação (ISO, 2006a, 2006b). O resultado da RSL foi apresentado conforme essa divisão da ACV, além do mapeamento dos estudos (item 3.1), pois permite verificar o escopo de cada metodologia utilizada na literatura (fase 1); os aspectos metodológicos: métodos de impacto, fronteiras do estudo, categorias de impacto ambiental (fase 2 e 3), e a análise da redução dos impactos ambientais com o uso de AR e MCS (fase 4). Por fim, são indicadas as principais lacunas de conhecimento sobre a ACV de MCS e AR.

3.2.1. Definição de objetivo e escopo

Nesta fase, devem ser especificados o objetivo do estudo, a definição da unidade funcional, o sistema do produto estudado, os limites do sistema, os insumos e os procedimentos de atribuição dos produtos. Dentre os 28 estudos analisados, foi observado que todos fornecem claramente o objetivo do estudo da ACV, separado dos objetivos do artigo.

Em relação aos limites do sistema, na metodologia ACV são utilizados três limites de sistema: do “berço ao

portão”, do “berço ao túmulo” e do “berço ao berço”. No primeiro, é considerado o ciclo desde a extração da matéria-prima até a saída do produto da fábrica. Outros limites consideram o uso, manutenção, demolição, reciclagem de resíduos, entre outros (VIEIRA et al., 2016). Observou-se que o sistema mais utilizado para estudos de ACV em MCS e AR é o do “berço ao portão”, o que inclui a avaliação dos impactos ambientais decorrentes da extração de matérias-primas, produção e preparação de materiais, transporte e produção do produto, excluindo impactos relacionados ao uso e fim de vida.

Embora 96,43% (27/28) dos estudos considerem este limite do sistema (Berço ao portão), 28,57% (7/28) não o mencionam explicitamente e apenas um estudo (3,57%) considera como limite do berço ao berço. Nesse sentido, estudos mencionam que a escolha do limite se deve a incertezas tanto nos dados quanto no comportamento do produto até o final da sua vida útil (LO et al., 2021). De Souza et al. (2021) consideram que o limite do sistema Berço ao portão é o mais relevante em termos de impactos ambientais específicos. No entanto, como muitos MCS e AR são originados de resíduos seria interessante que o escopo “berço ao berço” fosse mais utilizado para se contabilizar os impactos evitados (ou benefícios) oriundos do reaproveitamento destes resíduos.

No que diz respeito à absorção de CO₂ pelos AR, devido ao processo de carbonatação, apenas alguns estudos consideram esse fenômeno. Embora a carbonatação no concreto armado seja uma das principais causas de corrosão, também é uma forma de absorção de CO₂ (GALAN et al., 2010) e ainda mais com AR, devido à sua exposição e maior área superficial, após o processo de reciclagem e antes de ser misturado ao concreto ou argamassa (COLLINS, 2010). Hossain et al. (2020) mencionam esse fenômeno, mas não o consideram em seu estudo, justificando-o pelo limite do sistema escolhido (Berço ao portão); no entanto, Visintin et al. (2020) e Moro et al. (2020), utilizando o mesmo limite do sistema, consideram a absorção de CO₂ em seus respectivos estudos, mostrando uma contribuição significativa nos resultados do impacto de potencial de aquecimento global (ZHANG et al., 2019a).

A unidade funcional é a base de comparação para um estudo de ACV, depende do objetivo do estudo e fornece uma referência da relação entre entradas e saídas (ISO, 2006a). É necessário que a unidade funcional seja escolhida de forma adequada para garantir a precisão e comparação dos resultados (GUO et al., 2020). A seleção incorreta leva a resultados diferentes, ainda que para o mesmo sistema de produto (HISCHIER; REICHAERT, 2003;

KIM; DALE, 2006). Os estudos consideram diferentes unidades funcionais, sendo as unidades volumétricas (m³) as mais utilizadas, 57,14% (16/28), seguidas das unidades de massa, seja em quilogramas (kg) e/ou tonelada (ton), 21,43% (6/28) e 17,86% (5/28), respectivamente.

Embora não haja consenso sobre a utilização de uma unidade funcional, visto que cada estudo é único (ZHANG et al., 2019a), a volumétrica é a mais utilizada especificamente para a aplicação de concreto, o que era de se esperar já que concretos e argamassas normalmente são especificados nesta unidade no mercado. No entanto, estudos como Zhang et al. (2019b) consideram que apenas o uso do volume do concreto como unidade funcional pode trazer resultados tendenciosos e propõem o uso adicional de unidades de desempenho funcional, como resistência à compressão, em MPa, aos 28 dias e coeficiente de difusão de cloretos no concreto, para avaliar a durabilidade e vida útil. Nesse sentido, como a unidade funcional influencia diretamente os resultados da ACV, é necessário estabelecer uma unidade comum para evitar diferenças nos estudos de ACV e fazer comparações entre os diferentes materiais. Os resultados quando são normalizados por MPa acabam por mostrar que um dado traço de concreto/argamassa que parecem ter menor impacto ambiental em um primeiro momento, podem ser mais desvantajosos quando uma unidade de MPa é considerada. Alguns autores chamam esta unidade de indicador de ecoeficiência ou intensidade de potencial de aquecimento global (normalmente apresentada em kgCO₂-eq/m³.MPa).

A alocação em ACV significa a partição dos impactos ambientais de acordo com a relação de massa ou valor econômico entre o produto e os subprodutos (HOSSAIN et al. 2018). Se a alocação for considerada, dois procedimentos foram propostos, em massa e econômico (VAN DEN HEEDÉ; DE BELIE, 2012). O primeiro refere-se à diferenciação dos impactos ambientais de acordo com a proporção em massa do produto final e dos subprodutos; enquanto, no segundo caso, a divisão dos impactos ambientais é baseada no valor econômico. Porém, em relação ao MCS e AR, normalmente, a alocação não é considerada (BÖSCH; HELLWEG, 2010), isso porque esses materiais são reciclados e reaproveitados em cimento e concreto, em substituição aos materiais originais. Isso está de acordo com a presente investigação onde 71,43% (20/28) dos estudos não realizaram alocações.

De acordo com a ISO 14040 (ISO, 2006a) a alocação deve ser evitada sempre que possível, aplicando-se a abordagem de expansão do sistema, esta tem sido recomendada na literatura (KIM; CHAE, 2016). No entanto,

outras referências mencionam que devem ser alocados por serem coprodutos ou subprodutos (EUROPEAN UNION DIRECTIVE, 2008). Na literatura também foi demonstrado que a alocação em massa gera impactos ambientais muito altos em aplicações de concreto que usam MCS, com relação à alocação econômica há menores impactos ambientais (CHEN et al. 2010), mas alguns estudos indicam que não há uma tendência clara (TURK et al. 2015). O maior problema da alocação econômica está no fato da grande variabilidade e não homogeneidade dos valores ao longo do tempo, que tem uma influência direta de fatores intrínsecos do mercado e contexto econômico onde o estudo foi realizado. A revisão indica que apenas 10,71% (3/28) fez alocação em massa, 7,14% (2/28) fez econômica, e 10,71% (3/28) ambos. Porém, não há consenso sobre o método de alocação a ser utilizado e dependerá do estudo. É visível que realizar a alocação, principalmente em massa, pode desestimular o reaproveitamento de resíduos e coprodutos, já que os impactos dos coprodutos (principalmente cinza volante e escória) podem aumentar consideravelmente.

Talvez uma saída para a questão da padronização da alocação, seja as Regras de Categoria de Produto (PCR, em inglês) de produtos de concreto conterem este tipo de informação, especificando quais os tipos de MCS que precisariam levar em consideração a alocação e como ela deve ser realizada. Este é um tema ainda mais relevante se for considerado a questão da economia circular, que tem sido bastante difundida tanto à nível acadêmico como do mercado. Para o incentivo de um processo mais circular na indústria da construção será necessário ter regras claras sobre como medir os ganhos (para quem gerou e quem recebeu) quando resíduos são reaproveitados.

3.2.2. Inventário de Ciclo de Vida (ICV)

A criação e análise de ICV compila e quantifica as entradas, saídas e produtos, isso inclui a análise dos dados relativos ao sistema de produção, que é usado para o AICV (RASHID; YUSOFF, 2015; De LARRIVA et al., 2014). O ICV deve conter dados de entradas e saídas de cada processo individual do sistema em estudo, isso inclui: poluentes, materiais, recursos, transporte, fabricação, uso, descarte, reciclagem e desempenho (Kua e Kamath, 2014).

No presente estudo, observa-se que os dados foram adquiridos de forma primária no 64,29% (18/28) dos estudos, isso envolve diretamente as fontes; enquanto o restante usou bases de dados secundárias e fontes da literatura. Observa-se que a base de dados mais utilizada

é a Ecoinvent, seguida pela ELCD (European Reference Life Cycle Database), sendo as mais importantes intencionalmente (Vieira et al., 2016). Os bancos de dados ajudam a otimizar o tempo de aplicação da ACV e a ter maior presunção dos dados. Quando houver necessidade de informações que não façam parte de nenhum banco de dados, pode se fazer uma estimativa, desde que esse valor seja baseado em dados existentes na literatura científica e técnica, conforme realizado por diversos estudos (BRAGA et al., 2017; LI et al., 2019; HOSSAIN et al., 2020). Os dados disponíveis nas bases de dados também podem ser adaptados.

Como uma grande quantidade de dados é necessária, recomenda-se utilizar um software para tornar o estudo mais ágil, em alguns casos possuem bancos de dados e métodos de ACV integrados para avaliação de impactos ambientais, além de gerar tabelas e gráficos que colaboram na interpretação dos resultados (ISLAM et al., 2015). Nos estudos, os principais softwares foram o SimaPro e o OpenLCA, os quais possuem bancos de dados importantes. O grande uso SimaPro pode ser explicado por ser um dos que dominam o mercado de ACV, já ter o Ecoinvent integrado, possuir uma licença educacional e ter uma interface relativamente amigável. Enquanto o uso do OpenLCA por ser explicado pelo fato de ser um software livre.

3.2.3. Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida (AICV)

A AICV consiste em uma das etapas mais importantes para execução da metodologia ACV; no entanto, são diversificadas as categorias de impacto ambiental que podem ser analisadas. De acordo com Li et al. (2019) esta fase visa compreender o sentido ambiental dos resultados do ICV, pois analisa os seus resultados categorizando os impactos ambientais dos produtos por meio de modelos de caracterização.

Dessa forma, é preciso escolher qual método de impacto será utilizado de acordo com o objetivo do estudo, para que assim sejam selecionadas as suas categorias. O Quadro 3 mostra as categorias de impacto que foram encontradas nesta RSL, bem como são apresentados as unidades e siglas que serão utilizadas no estudo.

Apresentadas as categorias de impacto contabilizadas na literatura revisada, a seguir um resumo da AICV com base no tipo de método, abordagem, categoria de impacto e software utilizado por cada autor é apresentado no Quadro 04.

Categoria de impacto	Sigla utilizada	Unidade
Aquecimento global	GWP	kg CO2 eq
Depleção abiótica	ADP	kg Sb eq
Acidificação	AP	kg SO2 eq
Eutrofização	EP	kg PO4-3 eq
Criação fotoquímica de ozônio	POCP	kg C2 H4 eq
Energia não renovável	Pe-NRe	MJ primário
Destruição da camada de ozônio	ODP	kg CFC-11 eq
Orgânicos respiratórios	RO	kg C2H4 eq
Inorgânicos respiratórios	RI	kg PM2.5 eq
Extração mineral	ME	MJ excedente
Carcinógenos	CA	kg C2H3Cl eq
Não-carcinógenos	NCA	kg C2H3Cl eq
Ocupação do solo	LO	m2org.arabl
Acidificação aquática	AAC	kg SO2 eq
Radiação ionizante	IA	-
Ecotoxicidade terrestre	TE	kg TEG soil
Ecotoxicidade aquática	AE	kg TEG water
Eutrofização aquática	AEU	kg PO4 P-lim
Acidificação/nitrificação terrestre	TAN	-
Eutrofização terrestre	ETP	Mol N eq/t
Eutrofização de água doce	FAETP	-
Eutrofização marinha	MAETP	-
Ecotoxicidade de água doce	FAEP	-
Depleção abiótica de combustíveis fósseis	ADP-ff	MJ
Depleção abiótica de elementos	ADP-e	kg Sb-eq
Compostos orgânicos voláteis	VOC	Kg
Toxicidade humana	HTP	kg 1,4-DCB-eq

Quadro 3: Categorias de impacto ambiental.

Fonte: Autores.

Entre os métodos do impacto de ciclo de vida apresentados na Quadro 4, os que se destacam em grande parte na utilização são: Método CML, 28,6% (8/28), IMPACT 2002+,

14% (4/28), Demanda Cumulativa de Energia, 10,7% (3/28), IPCC, 21,4% (6/28), TRACI, 10,7% (3/28), outros métodos se dividem entre o restante dos autores. É importante salientar que os métodos avaliados podem ser de multicategorias, onde são classificados em pontos médios “midpoint” ou pontos finais “endpoint”. Os impactos de ponto médio como aquecimento global, acidificação e eutrofização foram os mais avaliados entre os estudos encontrados. Já os impactos que avaliam os danos finais, como mudança climática e saúde humana, só foram encontrados nos estudos de Fořt e Černý (2020) e Borghi et al. (2018).

No Quadro 4 pode ser observado que a única categoria de impacto utilizada por todos os autores foi o potencial de aquecimento global, isto está associado ao fato que os materiais cimentícios, normalmente, possuem uma emissão significativa de CO₂, devido a calcinação do carbonato de cálcio, e esta tem sido uma das maiores preocupações do setor.

Em alguns casos, como Lo et al. (2021), Sabau et al. (2021), Meek et al., (2021), Visintin et al. (2020), Robayo-Salazar et al. (2017), Kurda et al. (2017) e Anastasiou et al. (2015), houve apenas a consideração da categoria GWP. Porém, mesmo que o potencial de aquecimento global seja importante para qualquer estudo deste setor, apenas a análise dessa categoria não será suficiente para uma avaliação ambiental mais consistente, pois é importante identificar os trade-off que ocorrem entre diferentes categorias de impacto. Por exemplo, o uso de um certo MCS pode trazer ganhos em termos do potencial de aquecimento global, mas pode prejudicar outra categoria como por exemplo eutrofização ou ecotoxicidade. Dessa forma, a maioria dos estudos apresentados optaram por fazer correlações com outras categorias de impacto, principalmente quanto à avaliação do potencial de acidificação (AP), eutrofização (EP), destruição da camada de ozônio (ODP), potencial de criação fotoquímica de ozônio (POCP) e energias não renováveis (Pe-NRe).

Outro ponto analisado na AICV foi quanto aos softwares utilizados, neste caso, o SimaPro tende a ser a opção mais escolhida pelos pesquisadores com 54% (15/28) dos estudos, os demais artigos se dividem entre 6 diferentes softwares, entre eles o OpenLCA e Excel. Há também algumas lacunas na coluna de softwares do Quadro 04, onde referem-se aos dados que não foram mencionados na literatura.

Autores	Método AICV*	Categorias de impacto	Software
Lee et al. (2021)	-	GWP, AP, EP, POCP, ODP, ADP	-
Lo et al. (2021)	IPCC	GWP	SimaPro
De Souza et al. (2021)	IPCC	GWP, AP, EP, ODP, FAETP, EIR, MIR; GGR; EPR e EEP	-
Zhou et al. (2021)	-	GWP, Pe-NRe	SimaPro
Roh et al. (2020)	KOLID	GWP, AP, EP, POCP, ODP, ADP	ezEPD
Caldas et al. (2021)	CML-IA	GWP, ODP, AP, EP, POCP, ADP-e, ADP-ff	SimaPro
Sabau et al. (2021)	IPCC	GWP	SimaPro
Guo et al. (2020)	CML	GWP, AP, EP, POCP, HTP	Dutch LCA Handbook e Excel
Hossain et al. (2020)	IMPACT 2002 +	GWP, AP, Pe-NRe	SimaPro
Meek et al. (2021)	IPCC	GWP	AusLCA database v2.8
Moreno-Juez et al. (2020)	CML	GWP, AP, EP, POCP, HTP, ODP, ADP-e, ADP-ff	OpenLCA
Moro et al. (2020)	TRACI e CML	GWP, AP, EP, POCP, Pe-NRe, ODP,	-
Visintin et al. (2020)	TRACI	GWP	Green Concrete LCA Tool - Excel
Kurda et al. (2020)	NativeLCA	GWP, Pe-NRe	SimaPro
Fořt e Černý (2020)	IMPACT 2002+	Midpoint: GWP, AAC, AE, AEU, CA, IA, LO, ME, NCA, Pe-NRe, OLD, PO, RE, TAN e TE Endpoint: Saúde humana, qualidade do ecossistema, mudança climática e recursos	SimaPro
Li et al. (2019)	TRACI	GWP, Pe-NRe, VOC	Green ConcreteLC
Zhang et al. (2019b)	Literatura	GWP	GaBi
Kurda et al. (2018)	CML	GWP, ADP, POCP, AP, EP, Pe-NRe	SimaPro
Arrigoni et al. (2018)	ReCiPe2016	GWP, LO, Consumo de água	SimaPro
Borghi et al. (2018)	ILCD 2011 e Demanda Cumulativa de Energia	ODP, NCA, CA, POCP, AP, EP, EP_ad, EP_m, E_ad, ER, ERFM, Pe-NRe, Consumo de recursos naturais, Mudanças Climáticas	SimaPro
Marinkovic et al. (2017)	CML	GWP, ODP, AP, EP, POCP, ADP-ff	Excel
Hossain et al. (2017)	IMPACT 2002+	GWP, Pe-NRe, RI, AP, EP, ODP	SimaPro
Robayo-Salazar et al. (2017)	IPCC	GWP	OpenLCA
Kurda et al. (2017)	CML	GWP	SimaPro
Braga et al. (2017)	CML e Demanda Cumulativa de Energia	GWP, ADP, ODP, POCP, AP, EP, Pe- Re, Pe-NRe	SimaPro
Suárez et al. (2016)	IMPACT 2002+	GWP, OD, AP, EP, ME, POCP, NC, Pe-NRe, RI, LO	SimaPro
Teixeira et al. (2016)	CML2 e Demanda Cumulativa de Energia	GWP, ODP, AP, EP, POCP, ADP-ff	SimaPro
Anastasiou et al. (2015)	IPCC	GWP	SimaPro

*IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change; TRACI - Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other Environmental Impacts; KOLID - Korean Life Cycle Impact Assessment Method based on Damage-Oriented Modeling.

Quadro 4 - Dados da AICV.

Fonte: Autores.

3.2.4. Interpretação

A interpretação consiste em avaliar os resultados encontrados através do ICV e AICV. Essa etapa geralmente fornece algumas análises, conclusões e recomendações. Desse modo, para complementar estes resultados pode haver a necessidade de novas formulações como a normalização, ponderação, análise de sensibilidade e incertezas.

Os cálculos dos resultados da AICV podem incluir a normalização e ponderação, que devem apoiar a interpretação dos resultados obtidos. No entanto, foi verificado que nem todos os estudos aplicaram essa etapa em

suas avaliações. Quanto à normalização dos resultados, foram identificados apenas os autores Marinkovic et al. (2017), Sabau et al. (2021), Fořt e Černý (2020) no nível “end-point”, Hossain et al. (2017), Teixeira et al. (2016), Meek et al. (2021), Moreno-Juez et al. (2020), Moro et al. (2020), Zhou et al. (2021) e Roh et al. (2020) implementaram essa etapa em seus estudos. Quanto à ponderação, apenas Marinkovic et al. (2017), Borghi et al. (2018), Teixeira et al. (2016) e Moreno-Juez et al. (2020). Portanto, muitos autores optaram por não implementar estas etapas, devendo-se ao fato que a normalização e ponderação podem ser incluídas ou não no processo e pelo fato dos fatores disponíveis para normalização e ponderação não retratarem o contexto de onde os estudos foram realizados.

Sabau et al. (2021) avaliaram o potencial de aquecimento global (GWP) de concretos com cinzas volantes e agregados reciclados. Os resultados mostraram que concretos com até 100% de agregados reciclados e 25% de cinzas volantes possibilitam reduções na emissão de carbono em comparação ao concreto convencional. Os autores constataram que os benefícios ambientais do uso de MCS são compensados até em grandes distâncias de transportes para cinzas volantes, até 504 km, como mostrado no estudo. Com uma substituição de 25% do cimento por cinzas volantes foram apresentadas reduções no GWP entre 8% e 17% (média de 12,5%). Importante ressaltar que se deve levar em consideração a substituição do cimento até teores que possibilitem a obtenção de boas propriedades mecânicas e de durabilidade para aplicação estrutural dos concretos.

Moro et al. (2020) verificaram que, embora os agregados representem entre 60 e 70% do volume total do concreto, eles influenciam pouco nos resultados do GWP, aproximadamente entre 2 e 3% do GWP total. O estudo sugere que o AR pode trazer maiores benefícios ao considerar os impactos evitados pela geração de resíduos e o esgotamento abiótico. Em particular, Meek et al. (2021) garantem que reduzir a distância transportada é fundamental para redução do GWP.

As incertezas nos resultados de ACV são comuns, principalmente, quando há uma baixa qualidade dos dados e não há uma análise de sensibilidade apropriada. Hossain et al. (2020) consideraram em seu estudo a fronteira do sistema berço ao berço, pois os dados necessários não estavam disponíveis para a fase de uso e final de vida, e, mostraram que os resultados de ACV são sensíveis por diferentes considerações. No entanto, os autores não realizaram uma análise de sensibilidade, como foi vista em Caldas et al. (2021) que realizou um estudo de ACV para

produção de bioconcretos e a análise de sensibilidade foi feita para as avaliações dos combustíveis utilizados durante o processo de calcinação e alocação de cinzas volantes e aparas de madeira.

No mesmo sentido, Marinkovic et al. (2017) optaram por fazer uma análise de sensibilidade pautada na influência de possíveis diferenças na resistência à carbonatação e comportamento deformacional à longo prazo dos concretos. Em um estudo mais completo, Visintin et al. (2020) consideraram análises de sensibilidade em diversos cenários, em que o concreto é demolido e aterrado em grandes blocos, demolido e depositado em aterro após a britagem e demolido e utilizado em concreto de agregado reciclado. Estas análises foram realizadas para avaliação do impacto da composição da matriz de energia elétrica, para avaliação do combustível do forno nas emissões de CO₂ equivalente e energia incorporada, para distâncias de transporte, para análise do impacto da alocação das emissões associadas à reciclagem de agregados, além disso, para análise de absorção de CO₂ da atmosfera.

Outros autores também realizaram análises de sensibilidade, porém, em sua maior parte, a consideraram apenas para as distâncias de transportes, isso inclui os estudos de Guo et al. (2020), Kurda et al. (2018), Sabau et al. (2021), Moro et al. (2020), Anastasiou et al. (2015), Borghi et al. (2018), e Li et al. (2019).

Conforme Guo et al. (2020), a carga ambiental associada ao transporte do material ocorre em todas as fases do ciclo, portanto a inclusão de impactos de transporte no estudo é de grande importância. Os autores verificaram que o GWP gerado a partir do transporte de agregados reciclados foi 60% menor que o natural, pois a distância de transporte dos agregados reciclados estava a 20 km, enquanto os agregados naturais estavam a uma distância de aproximadamente 1000 km. Já o GWP total da produção de blocos normais de concreto são 5,53% maiores do que os blocos reciclados.

Para Borghi et al. (2018), as análises de sensibilidade confirmaram o papel fundamental do transporte, portanto, reduzir o transporte de resíduos pode melhorar o desempenho do sistema de gestão da reciclagem de RCD. Conforme Li et al. (2019), as atividades de transporte têm a segunda maior demanda de energia depois da produção de cimento. Portanto, podem implicar em um aumento de mais de 50% no GWP e energia.

O estudo mostra a importância de seleção dos modais de transporte mais verdes e locais de origem mais próximos. Dessa forma, assim como Anastasiou et al. (2015) recomendam o uso de agregado de escória de aço apenas

para distâncias mais curtas, Arrigoni et al. (2018) e Caldas et al. (2021) mostram que os benefícios ambientais provenientes da utilização de materiais reciclados podem ser prejudicados pelas condições de logística, como por exemplo, distâncias mais longas e transportes pouco eficientes. Nesse caso, pode até ser mais sustentável para algumas categorias de impacto, como o GWP, a utilização de agregados naturais.

Foi verificado a predominância do emprego da cinza volante como MCS. No entanto, é importante ressaltar que a substituição em altos teores de cimento e concreto por esse coproduto pode se tornar inviável em um futuro próximo. Isto pode ocorrer já que esse coproduto é originado de usinas à carvão, que é justamente uma das fontes energéticas mais criticadas do ponto de vista das emissões de GEE. Rehana (2015) relata que nos Estados Unidos, por exemplo, algumas regiões possuem excesso de oferta de cinza volante, porém, outras já têm passado por escassez, devido principalmente às mudanças de queima da usina de carvão para combustível de gás natural. Dessa forma, é de se esperar uma redução no uso dessa fonte, e, consequentemente na disponibilidade de cinza volante.

Uma categoria que pode ser vantajosa em termos de reaproveitamento de AR seria alguma ligada à exaustão de recursos minerais, como a brita e a areia, já que estes materiais seriam evitados de serem extraídos da natureza. No entanto, é preciso ter métodos de AICV que possuam modelos e fatores de caracterização capazes de fazer esta avaliação. Nenhum dos estudos encontrados apresentaram esse tipo de avaliação.

3.2.5. Principais lacunas científicas e recomendações

Embora existam vários estudos sobre AVC com AR e MCS, é possível identificar questões e abordagens não resolvidas. As principais lacunas de conhecimento sobre o tema foram obtidas a partir da análise dos artigos selecionados, considerando: a) questões não abordadas na literatura; b) a necessidade de aprofundar temas apresentados superficialmente; c) pontos controversos e/ou contraditórios nos estudos, e d) tendências recentes na AVC e materiais de construção. Neste sentido, são propostas algumas sugestões e recomendações que poderão servir para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

- Recomenda-se um estudo de ACV mais extenso, dessa forma, aumentando o escopo do estudo, incluindo as etapas de uso e fim de vida.
- Melhorar a definição da unidade funcional, incluindo

aspectos relacionados ao desempenho e durabilidade dos elementos que usarão os materiais contendo MCS e AR.

- Considerar a absorção de CO₂ no ciclo de vida do concreto e produtos de construção produzidos com AR para não superestimar a emissão de CO₂.
- Realizar o processo de alocação principalmente como análise de sensibilidade.
- Necessidade de incluir outros itens na análise de sensibilidade além das distâncias de transporte, como por exemplo eficiência do transporte, avaliação do combustível na produção de CO₂, impactos provenientes da alocação, influência dos aspectos de durabilidade dos materiais.
- Categorias de impacto sensíveis à redução da extração dos minerais utilizados nos materiais cimentícios (brita e areia principalmente).

4. CONCLUSÃO

Neste estudo, foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) da aplicação da metodologia ACV para determinar os impactos ambientais da utilização de Materiais Cimentícios Suplementares (MCS) e Agregados Reciclados (AR) em concretos, especialmente, e outros materiais de construção.

Quanto à fronteira do sistema, o limite "Berço ao portão" é o mais utilizado que é justificado devido às incertezas dos produtos analisados até seu fim de vida. A alocação não é muito utilizada nos estudos e poucos fazem alocações em massa e econômicas.

Embora não haja consenso sobre a unidade funcional, a mais utilizada é a unidade volumétrica, porém, recomenda-se utilizar outras, que forneçam critérios de desempenho e durabilidade, para padronizar e assim ter resultados mais confiáveis e poder comparar estudos. Apesar da maioria dos estudos utilizar dados primários para o inventário do ciclo de vida, também é observado um predomínio por parte das bases de dados, entre elas Ecoinvent e ELCD.

O uso de MCS e AR geram menos impactos ambientais em comparação ao concreto tradicional ou materiais de construção convencionais, em destaque, na maioria dos estudos, Potencial de Aquecimento Global seguido por Potencial de Depleção Abiótica e Potencial de Acidificação. Substituições de cimento por MCS, como cinzas volantes, vista como maior incidência nesse estudo, mostra boa incidência na redução de emissões de gases de efeito estufa, que vem sendo uma grande

preocupação no setor da construção civil. Além disso, substituições de agregados naturais por AR se evitam os impactos gerados pelo descarte de mais resíduos, principalmente, quando se utiliza os resíduos provenientes da construção, além de reduções nos encargos ambientais da produção do concreto e podem trazer maiores benefícios ambientais, mas que vai depender muito das distâncias de transporte utilizadas. Portanto, é difícil mensurar e/ou comparar diferentes estudos de ACV com a inclusão de AR. Já os MCS contribuem positivamente no desempenho ambiental de concretos e argamassas, muitas vezes, independente da distância de transporte.

É necessário maior número de pesquisas dos impactos ambientais do uso de AR para consolidar seu uso, uma vez que não há consenso de resultados por serem influenciados pela região, tecnologia e considerações específicas dos autores. Também foi observado que ainda há uma demanda de estudos para avaliação de ciclo de vida com ambas substituições (MCS e AR).

Sugere-se para trabalhos futuros a inclusão da previsão de vida útil como unidade funcional na ACV de materiais de construção com MCS e AR, a avaliação de categorias de impacto que mensurem a disponibilidade da brita e areia, entre outros. Também é dado como sugestão considerar a possível indisponibilidade de alguns MCS no futuro, com destaque para as cinzas volantes, material encontrado em 50% dos estudos analisados.

REFERÊNCIAS

ANASTASIOU, E. K.; LIAPIS, A.; PAPAYIANNI, I. Comparative life cycle assessment of concrete road pavements using industrial by-products as alternative materials. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 101, p. 1–8, 2015.

ARRIGONI, A. et al. Rammed Earth incorporating Recycled Concrete Aggregate: a sustainable, resistant and breathable construction solution. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 137, n. May, p. 11–20, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR ISO 14040**: Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida - Princípios e Estrutura. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2020**. ABRELPE, São Paulo, 2020.

BORGHI, G.; PANTINI, S.; RIGAMONTI, L. Life cycle assessment of non-hazardous Construction and Demolition Waste (CDW) management in Lombardy Region (Italy). **Journal of Cleaner Production**, v. 184, p. 815–825, 2018.

BÖSCH, M.; HELLWEG, S. Identifying improvement potentials in cement production with life cycle assessment. **Environmental Science & Technology**, v. 44, n. 23, p. 9143–9149, 2010. Doi: 10.1021/es100771k

BRAGA, A. M.; SILVESTRE, J. D.; DE BRITO, J. Compared environmental and economic impact from cradle to gate of concrete with natural and recycled coarse aggregates. **Journal of Cleaner Production**, v. 162, p. 529–543, 2017.

CALDAS, L. R. et al. Environmental impact assessment of wood bio-concretes: Evaluation of the influence of different supplementary cementitious materials. **Construction and Building Materials**, v. 268, 2021.

CHEN, C. et al. LCA allocation procedure used as an incitative method for waste recycling: an application to mineral additions in concrete. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 54, n. 12, p. 1231–1240, 2010. Doi: 10.1016/j.resconrec.2010.04.001

COLANGELO, F.; FORCINA, A.; FARINA, I.; PETRILLO, A. Life cycle assessment (LCA) of different kinds of concrete containing waste for sustainable construction. **Buildings**, v. 8, n. 5, 2018. Doi: 10.3390/buildings8050070

COLLINS, F. Inclusion of carbonation during the life cycle of built and recycled concrete: influence on their carbon footprint. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 15, p. 549–556, 2010. Doi: 10.1007/s11367-010-0191-4

DABOUS, S. A.; FERROZ, S. Condition monitoring of bridges with non-contact testing technologies. **Automation in Construction**, v. 116, 103224, 2020. Doi: 10.1016/j.autcon.2020.103224

De LARRIVA, R. et al. decisionmaking LCA for energy refurbishment of buildings: conditions of comfort. **Energy Buildings**, v. 70, p. 333–342, 2014. Doi: 10.1016/j.enbuild.2013.11.049

De SOUZA, A. et al. Application of the desirability function

for the development of new composite eco-efficiency indicators for concrete. **Journal of Building Engineering**, v. 40, 102374, 2021. Doi: 10.1016/j.jobe.2021.102374

DOSSCHE, C.; BOEL, V.; CORTE, W.D. Comparative material-based life cycle analysis of structural beam-floor systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 194, p. 327-341, 2018. Doi: 10.1016/j.jclepro.2018.05.062

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN 15804, **Sustainability of Construction Works - Environmental Product Declarations - Core Rules for the Product Category of Construction Products**, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 2012.

EUROPEAN UNION DIRECTIVE. EU Directive 2008/98/EC of the European parliament and of the council on waste and repealing certain directives. Official **Journal of the European Union**, L312:3–30, 2008.

FOŘT, J.; ČERNÝ, R. Transition to circular economy in the construction industry: Environmental aspects of waste brick recycling scenarios. **Waste Management**, v. 118, p. 510–520, 2020.

GALAN, I.; ANDRADE, C.; MORA, P.; SANJUAN, M. A. Sequestration of CO₂ by Concrete Carbonation. **Environmental Science & Technology**, v. 44, n. 8; p. 3181-3186, 2010. Doi: 10.1021/es903581d

GUO, Z. et al. Life-cycle assessment of concrete building blocks incorporating recycled concrete aggregates—A case study in China. In *Advances in Construction and Demolition Waste Recycling*. **Woodhead Publishing**, 2020, p.515-535. Doi: 10.1016/B978-0-12-819055-5.00025-5

HISCHIER, R.; REICHART, I. Multifunctional electronic media-traditional media. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 8, n. 4, p. 201-208, 2003. Doi: 10.1007/BF02978472

HOSSAIN, U.; XUAN, D.; POON, C. S. Sustainable management and utilization of concrete slurry waste: A case study in Hong Kong. **Waste Management**, v. 61, p. 397–404, 2017

HOSSAIN, M.; POON, C.; DONG, Y.; XUAN, D. Evaluation of environmental impact distribution methods for supplementary cementitious materials. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 597–608, 2018. doi:

10.1016/j.rser.2017.09.048

HOSSAIN, M. et al. Evaluating the environmental impacts of stabilization and solidification technologies for managing hazardous wastes through life cycle assessment: A case study of Hong Kong. **Environment International**, v. 145, 106139, 2020. Doi: 10.1016/j.envint.2020.106139

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 14040, *Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework*, **International Organization for Standardization**, Geneva, Switzerland, 2006a.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 14044, *Environmental Management – Life Cycle Assessment – Requirements and Guidelines*, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2006b.

ISLAM, H.; JOLLANDS, M.; SETUNGE, S. Life cycle assessment and life cycle cost implication of residential buildings—a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 42, p. 129–140, 2015. Doi: 10.1016/j.rser.2014.10.006

KIM, S.; DALE, B. Ethanol fuels: E10 or E85 – Life cycle perspectives. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 11, n. 2, p. 117-121, 2006. Doi: 10.1065/lca2005.02.201

KIM, T.; CHAE, C. Environmental impact analysis of acidification and eutrophication due to emissions from the production of concrete. **Sustainability**, v. 8, n. 6, 578:1–20, 2016. Doi: 10.3390/su8060578

KUA, H.; KAMATH, S. An attributional and consequential life cycle assessment of substituting concrete with bricks. **Journal of Cleaner Production**, v. 81, p. 190–200, 2014. Doi: 10.1016/j.jclepro.2014.06.006

KURDA, R. et al. Effect of incorporation of high volume of recycled concrete aggregates and fly ash on the strength and global warming potential of concrete. **Journal of Cleaner Production**, v. 166, p. 485–502, 2017.

KURDA, R.; SILVESTRE, J. D.; DE BRITO, J. Life cycle assessment of concrete made with high volume of recycled concrete aggregates and fly ash. **Resources, Conservation**

- and Recycling**, v. 139, 407-417, 2018. Doi: 10.1016/j.resconrec.2018.07.004
- KURDA, R.; DE BRITO, J.; SILVESTRE, J. A comparative study of the mechanical and life cycle assessment of high-content fly ash and recycled aggregates concrete. **Journal of Building Engineering**, v. 29, 101173, 2020. Doi: 10.1016/j.jobbe.2020.101173
- LEE, J.; LEE, T.; JEONG, J.; JEONG, J. Sustainability and performance assessment of binary blended low-carbon concrete using supplementary cementitious materials. **Journal of Cleaner Production**, v. 280, 124373, 2021. Doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124373
- LI, J.; ZHANG, W.; LI, C.; MONTEIRO, P. J. Green concrete containing diatomaceous earth and limestone: Workability, mechanical properties, and life-cycle assessment. **Journal of cleaner production**, v. 223, p. 662-679, 2019. Doi: 10.1016/j.jclepro.2019.03.077
- LIMA, P. R. L.; ROQUE, A. B.; FONTES, C. M. A.; LIMA, J. M. F.; BARROS, J. A. Potentialities of cement-based recycled materials reinforced with sisal fibers as a filler component of precast concrete slabs. In **Sustainable and Nonconventional Construction Materials Using Inorganic Bonded Fiber Composites**, Woodhead Publishing, 399-428, 2017. Doi: 10.1016/B978-0-08-102001-2.00017-6
- LO, F.; LEE, M.; LO, S. Effect of coal ash and rice husk ash partial replacement in ordinary Portland cement on pervious concrete. **Construction and Building Materials**, v. 286, 122947, 2021. Doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.122947
- MARINKOVIC et al. Environmental assessment of green concretes for structural use. **Journal of Cleaner Production**, v. 154, p. 633-649, 2017.
- MEEK, A.; ELCHALAKANI, M.; BECKETT, C.; GRANT, T. Alternative stabilised rammed earth materials incorporating recycled waste and industrial by-products: Life cycle assessment. **Construction and Building Materials**, v. 267, 120997, 2021. Doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.120997
- MORENO-JUEZ, J.; VEGAS, I.; GEBREMARIAM, A.; GARCÍA-CORTÉS, V.; DI MAIO, F. Treatment of end-of-life concrete in an innovative heating-air classification system for circular cement-based products. **Journal of Cleaner Production**, v. 263, 121515, 2020. Doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121515
- MORO, C.; FRANCIOSO, V.; SCHRAGER, M.; VELAY-LIZANCOS, M. TiO₂ nanoparticles influence on the environmental performance of natural and recycled mortars: A life cycle assessment. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 84, 106430, 2020. Doi: 10.1016/j.eiar.2020.106430
- RASHID, A.; YUSOFF, S. A review of life cycle assessment method for building industry. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 45, p. 244-248, 2015. Doi: 10.1016/j.rser.2015.01.043
- ROBAYO-SALAZAR, R. A.; MEJÍA-ARCILA, J. M.; MEJÍA DE GUTIÉRREZ, R. Eco-efficient alkali-activated cement based on red clay brick wastes suitable for the manufacturing of building materials. **Journal of Cleaner Production**, v. 166, p. 242-252, 2017.
- ROH, S.; KIM, R.; PARK, W.; BAN, H. Environmental Evaluation of Concrete Containing Recycled and By-Product Aggregates Based on Life Cycle Assessment. **Applied Sciences**, v. 10, n. 217503, 2020. Doi: 10.3390/app10217503
- ROSADO, L. P.; VITALE, P.; PENTEADO, C. S. G.; ARENA, U. Life cycle assessment of natural and mixed recycled aggregate production in Brazil. **Journal of cleaner production**, v. 151, 634-642, 2017. Doi: 10.1016/j.jclepro.2017.03.068
- SABAU, M.; BOMPA, D. V.; SILVA, L. F. O. Comparative carbon emission assessments of recycled and natural aggregate concrete: Environmental influence of cement content. **Geoscience Frontiers**, v. 12, n. 6, p. 101235, 2021.
- SUÁREZ, S.; ROCA, X.; GASSO, S. Product-specific life cycle assessment of recycled gypsum as a replacement for natural gypsum in ordinary Portland cement: Application to the Spanish context. **Journal of Cleaner Production**, v. 117, p. 150-159, 2016.
- TEIXEIRA, E. R. et al. Comparative environmental life-cycle analysis of concretes using biomass and coal fly ashes as partial cement replacement material. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 2221-2230, 2016.
- TURK, J.; COTIC, Z.; MLADENOVIC, A.; SAJNA, A. Environmental evaluation of green concretes

versus conventional concrete by means of LCA. **Waste Management**, v. 45, p. 194–205, 2015. Doi: 10.1016/j.wasman.2015.06.035

VAN DEN HEEDE, P.; DE BELIE, N. Environmental impact and life cycle assessment (LCA) of traditional and 'green' concretes: literature review and theoretical calculations. **Cement and Concrete Composites**, v. 34, n. 4, p. 431–42, 2012. Doi: 10.1016/j.cemconcomp.2012.01.004

VIEIRA, D.R.; CALMON, J.L.; COELHO, F.Z. Life cycle assessment (LCA) applied to the manufacturing of common and ecological concrete: a review. **Construction and Building Materials**, v. 124, p. 656–666, 2016. Doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.07.125

VISINTIN, P.; XIE, T.; BENNETT, B. A large-scale life-cycle assessment of recycled aggregate concrete: The influence of functional unit, emissions allocation and carbon dioxide uptake. **Journal of Cleaner Production**, v. 248, p. 119243, 2020. Doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119243

ZHANG, Y. et al. A review of life cycle assessment of recycled aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, v. 209, p. 115-125, 2019a. Doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.03.078

ZHANG, Y. et al. Effect of compressive strength and chloride diffusion on life cycle CO₂ assessment of concrete containing supplementary cementitious materials. **Journal of Cleaner Production**, v. 218, p. 450-458, 2019b. Doi: 10.1016/j.jclepro.2019.01.335

ZHOU, A. et al. A novel approach for recycling engineering sediment waste as sustainable supplementary cementitious materials. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 167, p. 105435, 2021. Doi: 10.1016/j.resconrec.2021

COMO CITAR ESTE ARTIGO

FARIAS, Lidiane do Nascimento; ROCHA, Joaquin Humberto Aquino; CALDAS, Lucas Rosse; FILHO, Romildo Dias Toledo. ACV de materiais cimentícios suplementares e agregados reciclados: Uma revisão sistemática. **MIX Sustentável**, v. 9, n. 3, p. 67-81, 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.n3.67-81>>.

SUBMETIDO EM: 13/12/2022

ACEITO EM: 25/03/2023

PUBLICADO EM: 30/07/2023

EDITORES RESPONSÁVEIS: Aguinaldo dos Santos e Lisiane Ilha Librelotto

Registro da contribuição de autoria:

LNF: Conceituação, Curadoria de dados, Análise formal, Investigação, Metodologia, Visualização, Escrita - rascunho original, Escrita - revisão e edição.

JHAR: Conceituação, Curadoria de dados, Análise formal, Investigação, Metodologia, Visualização, Escrita - rascunho original, Escrita - revisão e edição.

LRC: Conceituação, Análise formal, Metodologia, Supervisão, Visualização, Administração de projetos, Escrita - revisão e edição.

RDTF: Supervisão, Aquisição de financiamento, Administração de projetos, Escrita - revisão e edição.

Declaração de conflito: nada foi declarado.

AVALIAÇÃO DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS SIDERÚRGICOS EM BLOCOS DE SOLO-CIMENTO

EVALUATION OF THE INCORPORATION OF STEEL WASTE IN SOIL-CEMENT BLOCKS

EVALUACIÓN DE LA INCORPORACIÓN DE RESIDUOS SIDERÚRGICOS EN BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA

VICTOR FRANÇA CAMPOLINA | UFVJM - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil
MATEUS GOMES BRETAS | UFVJM - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil
FRANK ALISON DE CARVALHO, Me | UFVJM - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil
RICARDO DE OLIVEIRA BRASIL COSTA, Me | UFVJM - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil
BERNAT VINOLAS PRAT, Dr. | UFVJM - Universidade Federal dos Vales de Jequitinhonha e Mucuri, Brasil

RESUMO

O pó de balão e a escória de aciaria são dois resíduos gerados na indústria siderúrgica com potencialidade de uso como agregados na construção civil. O bloco de solo-cimento permite realizar construções de mais baixo custo e sustentáveis, melhorando também aspectos de ambiência. O uso de resíduos para produção da matriz de solo-cimento potencializa ainda mais a redução de custos e dos impactos ambientais. O objetivo deste trabalho é quantificar o aumento de desempenho nos blocos de solo-cimento devido à utilização de uma mistura de pó de balão e escória de aciaria. O percentual de incorporação da mistura dos dois resíduos variou de 0% a 8% do total da massa do solo. Os parâmetros avaliados foram a absorção de água e a resistência à compressão dos blocos. A substituição do resíduo pelo solo não alterou os valores de absorção de água, sendo sempre estes valores os exigidos pela normativa (absorção abaixo de 20%). No caso de substituição do solo pelo resíduo em uma quantidade de 8%, com respeito à massa total do solo, o aumento da resistência à compressão foi de 15%. Para todos os traços estudados, a resistência à compressão sempre foi superior à exigida pela normativa (>2,0 MPa). Conclui-se que o uso do bloco de solo-cimento nas construções com a utilização deste resíduo gera uma economia da obra e uma melhora nos aspectos ambientais.

PALAVRAS-CHAVE

Resíduos siderúrgicos; solo-cimento; sustentável; bloco; ambiência

ABSTRACT

Balloon dust and steel slag are two residues generated in the steel industry with potential use as aggregates in civil construction. The soil-cement block allows more economy and sustainable constructions, also improving ambience's aspects. The use of waste to produce the soil-cement matrix further enhances the reduction of costs and environmental impacts. The objective of this work is to quantify the performance increase in soil-cement blocks due to the use of a mixture of balloon dust and steel slag. The percentage of incorporation of the mixture of the two residues varied from 0% to 8% of the total soil's mass. The evaluated parameters were the water absorption and the compressive strength of the blocks. The replacement of the residue by the soil did not modify the water absorption values, these values being always those required by the regulations (absorption below 20%). In the case of replacement of soil by residue in an amount of 8%, with respect to the total soil's mass, the increase in compressive strength was 15%. For all the



soil-cement recipes studied, the compressive strength was always higher than that required by the regulations (>2.0 MPa). It's concluded that the use of soil-cement block in constructions with the use of this residue generates economy of the work and an improvement in the environmental aspects.

KEYWORDS

Steel residues; soil-cement; sustainable; block; ambience

RESUMEN

Los polvos y la escoria de acería son dos residuos generados en la industria siderúrgica con potencial uso como áridos en la construcción. El bloque de tierra comprimida (BTC) con estabilización de cemento permite construcciones más económicas y sostenibles, mejorando también aspectos del ambiente. El uso de residuos para producir la matriz tierra-cemento mejora aún más la reducción de costos e impactos ambientales. El objetivo de este trabajo es cuantificar el aumento del rendimiento de los BTC debido al uso de una mezcla de polvo y escoria de acería. El porcentaje de incorporación de la mezcla de los dos residuos varió de 0% a 8% de la masa total de la cantidad de tierra. Los parámetros evaluados fueron la absorción de agua y la resistencia a la compresión de los BTC. La sustitución del residuo por la tierra no alteró los valores de absorción de agua, siendo éstos siempre los exigidos por la normativa (absorción inferior al 20%). En el caso de sustitución de tierra por residuo en una cantidad del 8%, con respecto a la masa total de tierra, el aumento de la resistencia a la compresión fue del 15%. Para todos los parámetros estudiados, la resistencia a la compresión fue siempre superior a la exigida por la normativa (>2,0 MPa). Se concluye que el uso de BTC en construcciones con aprovechamiento de este residuo genera economía en la obra y mejora los aspectos ambientales.

PALABRAS CLAVE

Palavras chave em espanhol vão aqui

1. INTRODUÇÃO

A indústria siderúrgica é responsável pela produção de grande quantidade de resíduos no Brasil (AMANCIO et al., 2020; CUNHA et al., 2006). Em 2018, para cada tonelada de aço produzida, foram gerados 628,5 kg de resíduos e coprodutos (PÁGIO et al., 2022), entre os quais o pó de balão, gerado em altos-fornos, além da escória de aciaria (LEOPOLDINO et al., 2019). O pó de balão, um resíduo sólido proveniente da indústria siderúrgica, é constituído basicamente de finos de carvão vegetal e minério (PAVERS et al., 2019). A escória de aciaria é um resíduo da fabricação do aço. Trata-se de líquido fundido, uma solução complexa de silicatos e óxidos que se solidifica após o resfriamento (OLIVEIRA, 2007). O pó de balão, assim como a escória de aciaria, é um produto que não possui atividade pozolânica (AMANCIO et al., 2020), porém ambos os materiais atendem às características físicas (resistência, durabilidade e granulometria) necessárias ao emprego como agregados na construção civil (CHAVES et al., 2020; RHODE et al., 2003). Na literatura científica, existem muitos estudos de reaproveitamento deste tipo de resíduo por meio de sua incorporação em: argamassas (LACERDA et al., 2016), concreto (MELO, 2020), pavimentação (COSTA et al., 2020; SANTOS et al., 2018) e correção do solo (OLIVEIRA et al., 2020). Shalabi (2017) estudou o emprego de escórias de aço como estabilizador de solos argilosos. Os resultados de sua pesquisa mostram que a escória de aço pode ser usada para melhorar as propriedades de engenharia da argila.

Em menor escala, também se encontram estudos da utilização desse material em produtos de solo-cimento. Em busca bibliográfica na plataforma da Scientific Electronic Library Online (SciELO), utilizando as palavras-chave 'resíduos siderúrgicos', 'pó de balão' e 'escória de aciaria', dos 49 artigos encontrados, só um se refere à utilização da escória de aço em blocos de solo-cimento (Castro, 2016). A utilização desse resíduo na produção de blocos de solo-cimento reduz os custos e promove melhoria ambiental na região de produção e utilização. Castro et al. (2016) avaliaram as propriedades físicas e mecânicas de blocos de solo-cimento formulados com coprodutos siderúrgicos, chegando à conclusão de que a utilização desses resíduos proporciona economia e a diminuição do passivo ambiental, além de ganhos para as características estéticas e tecnológicas do bloco de solo-cimento.

O solo é um dos materiais mais antigos utilizados na construção (GOMES et al., 2019; SANTOS; BESSA, 2020), pois se encontra em abundância. As construções com

esse material têm um custo mais baixo, além de serem mais sustentáveis (FRAGA et al., 2016). Outro aspecto importante é o conforto dentro dos cômodos. Estudos realizados por Minke (2015) mostram como esse tipo de material tem maior capacidade de absorção de umidade e inércia térmica. Ambos os fatores fazem com que, dentro dos cômodos, a variação de umidade e temperatura seja menor do que a de outros tipos de material, como paredes de tijolo cerâmico com reboco. Na avaliação realizada por Minke (2015), para uma variação da temperatura diurna exterior de 13°C, somada à radiação solar, a temperatura interna da casa de terra variou em apenas 4°C. Em contrapartida, na casa construída com bloco de concreto, a variação foi de 16°C.

Com a evolução das técnicas construtivas, apareceu um novo material, denominado solo-cimento, que é resultante da mistura homogênea e compactada de solo, cimento Portland e água (GIORGI et al., 2018; KIM et al., 2003). Depois de compactado, o material adquire resistência e durabilidade, em razão das reações de hidratação do cimento (GRANDE, 2003), sem necessidade de passar pelo processo de queima (NEGREIROS et al., 2018).

Os principais fatores que afetam as propriedades do solo-cimento são:

- Tipo de solo: solos bem graduados, com porcentagens de argila de 14 a 16%, são os ideais para produção de blocos de solo-cimento (VENKATARAMA; LATHA, 2014);
- Porcentagem de cimento: o aumento da porcentagem de cimento aumenta a resistência (GRANDE, 2003; WALKER; STACE, 1997);
- Energia de compactação: o aumento da energia de compactação melhora a resistência do produto de solo-cimento (MAHDAD; BENIDIR, 2008). Os valores ideais de pressão de compactação são de 4 até 10 Mpa (FAY et al., 2014);
- Umidade de compactação: o aumento da umidade de compactação quando os valores estão abaixo do valor ótimo de compactação aumenta a resistência (VENKATARAMA; PRASANNA, 2011);
- Homogeneidade da mistura: quanto mais homogênea for a mistura, melhor o desempenho do bloco de solo-cimento (PEDROTI, 2011).

Dos produtos que utilizam o solo-cimento como matéria-prima, um dos mais procurados é o bloco modular. Esse tipo de material diminui os custos de produção e permite construções mais sustentáveis (NASCIMENTO et al.,

2018), pois prescinde do processo de queima, ao contrário do bloco cerâmico. A grande disponibilidade de solo no entorno e/ou oriunda da movimentação de terra durante a fundação faz com que este tipo de solução construtiva apresente benefícios em todos os âmbitos da construção: nos custos, para o meio ambiente e para a ambiência da própria construção (VILEA et al., 2020, AUGUSTO et al., 2022).

Visando obter melhorias no produto do bloco de solo-cimento, é possível substituir parte do solo por agregados reciclados e/ou resíduos industriais (CRISTINA et al., 2018; BESSA et al., 2019; NASCIMENTO et al., 2021). Há estudos de avaliação da reutilização de diversos resíduos na produção do bloco de solo-cimento, tais como rejeitos industriais (MENDES et al., 2019) e resíduos de concreto (SOUZA, 2008), os quais demonstram a possibilidade de se utilizar dosagens com menos de 6% de cimento na confecção desse produto. Ferreira et al. (2008) avaliaram as propriedades físico-mecânicas de blocos de solo-cimento após a adição de casca de arroz em lugar de 10% do cimento, atingindo resistências parecidas. Apesar de existir numerosos trabalhos sobre a utilização de resíduos na produção de blocos de solo-cimento, entre os quais alguns específicos sobre a utilização de pó de balão e escória de aciaria, até a data de conclusão deste artigo, não foram encontrados estudos acerca do grau de aumento da resistência dos blocos à compressão em função da porcentagem de utilização desse resíduo.

O objetivo deste trabalho, portanto, é avaliar como a reutilização da mistura de pó de balão com escória de aciaria melhora o desempenho dos blocos de solo-cimento em termos de resistência à compressão e de absorção de água. Os objetivos específicos são: 1) analisar, em termos físicos e mineralógicos, os componentes do resíduo da mistura de pó de balão e de escória de aciaria; 2) medir a resistência à compressão e absorção de água dos blocos de solo-cimento produzidos com diferentes porcentagens do resíduo (de 0% até 8%); 3) quantificar o aumento de resistência à compressão do bloco de solo-cimento em função da porcentagem de resíduo utilizada; e 4) Avaliar estatisticamente a correlação e significância estatística entre as seguintes variáveis: resistência à compressão, porcentagem de resíduo utilizado e absorção de água dos blocos de solo-cimento.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na Sala de Construções Sustentáveis-Saudáveis, localizada no Laboratório

Integrado de Pesquisas Multiusuário dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (Lipemvale), da Universidade Federal dos Vales de Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), em Diamantina, Minas Gerais. As análises de rompimento dos blocos de solo-cimento foram realizadas no Laboratório de Tecnologia da Madeira, do Departamento de Engenharia Florestal da UFVJM. A análise do solo utilizado foi realizada no Laboratório de Fertilidade do Solo da UFVJM. A análise química por fluorescência de Raios-X da mistura do pó de balão com escória de aciaria foi realizada no Laboratório de Ensaios e Análises em Materiais (Lamat), de responsabilidade do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (Senai) e da Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais (FIEMG). Todos os processos, tanto a produção dos blocos de solo-cimento quanto os ensaios, foram realizados de acordo com a NBR 10834 (ABNT, 2013b).

2.1. Água

A água utilizada foi retirada das torneiras das bancadas do Laboratório de Construções Sustentáveis-Saudáveis, no prédio do Lipemvale, Campus II da UFVJM. É uma água classificada como potável, cuja origem são os poços tubulares profundos, que se encontram em região de característica mineralógica quartzítica. As suas características atendem às especificações da NBR 6118 (ABNT, 2014).

2.2. Solo

O solo foi coletado no próprio campus da UFVJM, Campus JK, em Diamantina, MG. O solo escolhido como fonte de material foi o Argissolo Amarelo (EMBRAPA, 2018). Das quatro amostras de solo analisadas foram calculados as médias e os desvios-padrões das quantidades de areia, silte e argila contidas no solo. Os resultados foram: 77,75% e +/- 1,89% de areia; 1,5% e +/- 2,38% de silte; e 20,75% e +/- 0,5% de argila. O solo foi peneirado com a peneira nº 4, de 4,8 mm de abertura, para a retirada de matéria orgânica e de pedregulhos

2.3. Cimento

Para a produção de todos os blocos de solo-cimento, utilizou-se o cimento Portland CP IV 32 RS, de baixo calor de hidratação, do fabricante Cauê. O cimento foi adquirido em casa de material de construção na cidade de Diamantina, MG, e manteve-se dentro do prazo de validade durante a realização de ensaio. O material escolhido possui alto teor de Pozzolana (entre 15 e 50%), o que

proporciona estabilidade no uso com agregados reativos e em ambientes de ataque ácido, além de ser altamente eficiente em solo-cimento (LIMA et al., 2016). Esse tipo de cimento apresenta os seguintes teores de compostos: de 3% a 7% de C3A, de 34% a 57% de C2S, de 21% a 44% de C3S e de 6% a 18% de C4AF (NEVILLE, 2015).

2.4. Resíduos

Os subprodutos foram doados pela Tubosete Ltda., empresa que beneficia escórias de siderúrgicas na Região Metropolitana de Belo Horizonte. Os resíduos dessas escórias são o pó de balão, também chamado de pó de alto-forno, e a escória de aciaria. A matéria-prima é peneirada em várias granulometrias diferentes, desde dimensões maiores até bem finas. Após o peneiramento gradual, o material é passado por um ímã, para a retirada de metais com bom preço de mercado. O que sobra depois de tudo isso é o subproduto utilizado na proposta deste artigo, popularmente conhecido como pó de minério. Esses subprodutos se misturam durante o beneficiamento, ao fim do qual se obtém uma mistura arenosa de cor preta. A mistura dos dois resíduos (pó de balão + escória de aciaria) é a utilizada para produção de blocos de solo-cimento. O solo é substituído por uma porcentagem dessa mistura, considerada como resíduo.

2.5. Dosagens

O peso de cada bloco vazado é de, no máximo, 3.500g. Tendo em conta que, para cada traço, propõe-se a produção de quatro blocos, é preciso ter uma massa total aproximada de 14.000g para cada traço. Na Tabela 1, constam as quantidades de solo, de cimento e de resíduo utilizadas para cada traço, em massa e em percentual. Como observado, a porcentagem de cimento utilizada (12%) permanece inalterada. No caso em estudo, o solo é substituído pelo resíduo, em proporções variadas (de 0%, no caso do traço 1, até 8% em relação à massa total, no caso do traço 5). Em todos os casos, trabalhou-se com a mesma umidade de compactação (10%), isto é, ao material previamente seco foi adicionada uma quantidade de água igual, em peso, a 10% da soma total dos pesos de solo, cimento e resíduo. A umidade ótima de compactação para esse tipo de material tem valores compreendidos de 11% a 14% (SOUZA et al., 2008). Optou-se por trabalhar com uma umidade de 10% porque, tratando-se de um tipo de mistura muito arenosa, um aumento na umidade de compactação aumentaria a plasticidade do bloco,

inviabilizando sua desforma. O parâmetro de umidade de compactação se manteve sempre invariável em todos os traços dos blocos produzidos, para que não tivesse influência nos resultados.

Dosagem para a produção dos tijolos						
Traço	Solo		Cimento		Resíduo ⁽¹⁾	
	g	%	g	%	g	%
1	12.320	88,00	1.680	12,00	-	-
2	12.180	87,00	1.680	12,00	140	1,00
3	12.040	86,00	1.680	12,00	280	2,00
4	11.760	84,00	1.680	12,00	560	4,00
5	11.200	80,00	1.680	12,00	1.120	8,00

Tabela 01: Dosagem para a produção dos tijolos de solo-cimento.

Fonte: elaborado pelos autores.

Nota: (1) 50 % de pó de balão e 50 % de escória de aciaria.

2.6. Produção dos blocos vazados de solo-cimento

Foram confeccionados, ao todo, vinte blocos de solo-cimento, separados em cinco traços. Cada traço continha quatro amostras. Para a produção dos blocos de solo-cimento, foram adotadas as seguintes etapas:

- a) de acordo com o traço que se desejava produzir (Tabela 1), foram adicionados o solo, o cimento e a quantidade necessária de resíduo que satisfizesse todas as proporções do traço. Todos os componentes adicionados estavam secos. Inicialmente, os componentes foram misturados manualmente, com o auxílio da enxada. Em seguida, foi adicionada a água, sempre no mesmo percentual de umidade (10%) e misturado todo o material novamente;
- b) após, a mistura de solo, cimento, água e resíduo foi homogeneizada novamente, de forma mecânica, com uso de equipamento específico, o triturador JAG 2500, da marca Sahara, que garante a decomposição de possíveis torrões de argila, melhorando a homogeneidade da mistura;
- c) a massa homogênea foi introduzida no silo do equipamento, para produção de blocos de solo-cimento, no caso, uma prensa manual da marca Sahara (Figura 1a);



Figura 1a: Prensa manual.
Fonte: acervo particular dos autores.



Figura 1b: Tijolo produzido.
Fonte: acervo particular dos autores.

- d) prensagem da massa homogênea dentro da forma de bloco que se encontra no equipamento de produção de blocos. O molde modular para produção do bloco possui espessura de 6,25cm, comprimento de 25cm, largura de 12,5cm e diâmetro de graute de 6,5cm. A prensagem foi feita com a aplicação de força de 800N na parte final da alavanca da máquina;
- e) desforma imediata do bloco e colocação em bancada próxima ao lugar de produção, até adquirir resistência, para facilitar o manuseio (Figura 1b);
- f) 24 horas após a produção, os blocos foram colocados dentro da sala, em ambiente controlado, para processo de cura, onde permaneceram por 28 dias em temperatura ambiente de aproximadamente 25 °C e com umidade relativa superior a 90%, até os testes.

2.7. Teste de absorção

O primeiro teste realizado foi o teste de absorção de água, conforme as especificações da NBR 10836/2013 (ABNT, 2013c). Os blocos foram submersos em água por 48 horas, depois retirados e pesados (Pmolhado). Em seguida, os

blocos foram colocados em estufa a 105 °C, onde permaneceram por 48 horas. Ao serem retirados da estufa, os blocos foram pesados (Pseco). Posteriormente, foi calculada a porcentagem de absorção de água, mediante Equação 1, a seguir:

$$\% \text{ Absorção} = (X-Y)/Y \cdot 100 \quad (1)$$

Sendo: X = Peso bloco molhado e Y = Peso bloco seco.

2.8. Capeamento

Antes do teste de resistência à compressão, procedeu-se ao capeamento dos blocos de solo-cimento. O capeamento permite que, durante o teste de resistência à compressão, as tensões aplicadas ao bloco sejam uniformes em toda a sua superfície. Este capeamento foi feito com pasta de cimento (traço: 1 de cimento para 1 de areia) de acabamento liso, dois centímetros de espessura e de elevada resistência (Figura 1c). Este capeamento tinha uma resistência teórica acima de 20MPa, muito superior à resistência teórica dos blocos de solo-cimento, de no máximo 4MPa.

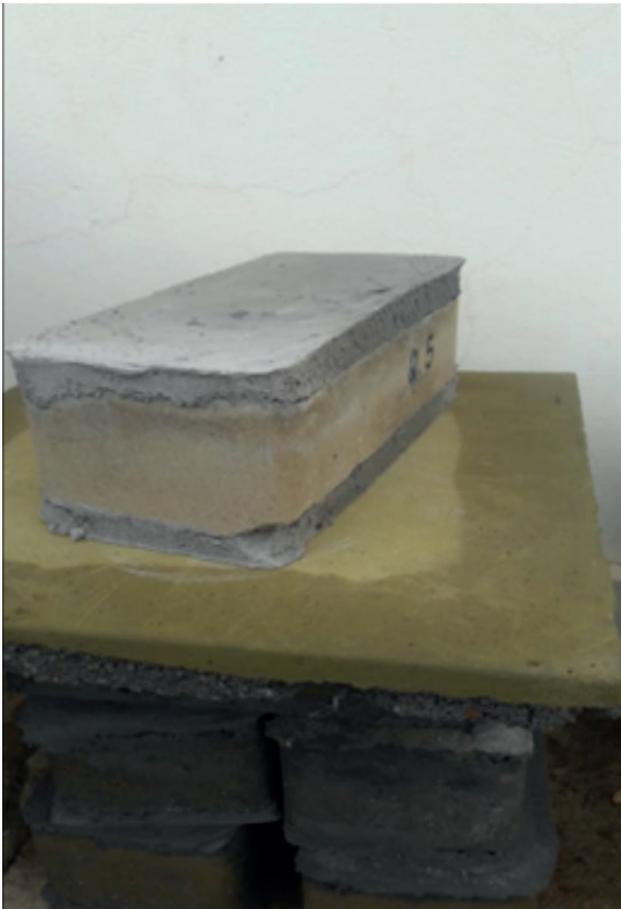


Figura 1c: Tijolo com capeamento.
Fonte: acervo particular dos autores.

2.9. Teste de rompimento

Para este teste, foi utilizada uma máquina de tensionamento do fabricante EMIC, mostrada na Figura 2a. O cálculo da resistência foi obtido mediante a seguinte equação:

$$\text{Resistência do bloco} = \text{Força rompimento} / \text{Área} \quad (2)$$

Cada bloco foi posicionado de forma a fazer com que todos os lados estivessem alinhados com a base da prensa. Os blocos foram sujeitos a uma tensão de compressão que aumentava gradativamente até o rompimento.

2.10. Análise estatística

Os dados dos testes de resistência e de absorção de água foram analisados por ANOVA, e as médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey ($p < 0,05$), com o auxílio do aplicativo SPSS Stastistic, versão 22.0. O SPSS também foi utilizado para o teste de Kolgomorov-Smirnov, que aferiu a



Figura 2a: Prensa EMIC para teste de rompimento.
Fonte: acervo particular dos autores.



Figura 2b: Bloco de solo-cimento posterior ao teste de rompimento.
Fonte: acervo particular dos autores.

normalidade das três variáveis em estudo, bem como para obtenção do coeficiente de correlação e do grau de significância da correlação entre as variáveis. Para a produção dos gráficos do modelo de correlação com a reta de regressão teórica, foi utilizado o aplicativo Microsoft Excel. Foi produzido um gráfico de correlação de resistência à compressão em função da porcentagem de resíduo utilizado e outro de resistência à compressão em função da absorção de água.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2, observa-se a composição do resíduo do pó de balão misturado com a escória de aciaria para a produção do bloco. Na Figura 3, apresenta-se a análise granulométrica dessa mesma mistura. Como observado na análise granulométrica, esse resíduo pode ser considerado, granulometricamente, como uma areia (tamanho de 0,06mm até 2mm).

3.1. Absorção de água e resistência à compressão

Composição química	Mistura de Pó de balão + Escória de aciaria (%)
CaO	17,00
SiO ₂	34,64
MgO	3,90
P ₂ O ₅	0,37
FeO	25,16
Al ₂ O ₃	12,19
Cr ₂ O ₃	0,11
F	0,00
K ₂ O	1,23
MnO	2,81
SO ₃	1,36

Tabela 02: Composição química do resíduo.
Fonte: Análise fornecida pela Empresa subministradora do resíduo (Tubosete Ltda.).

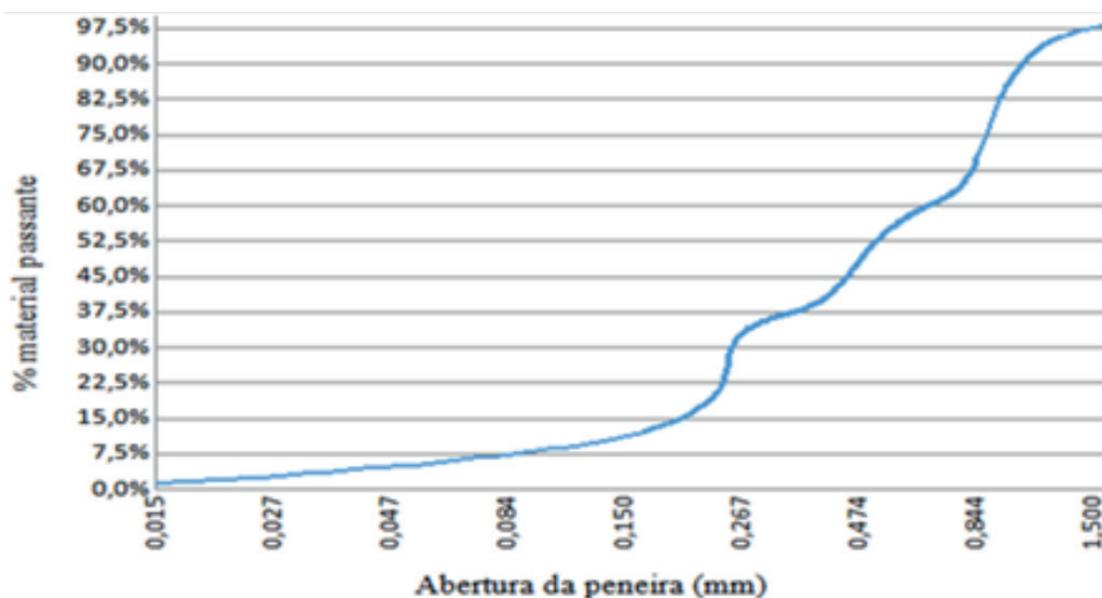


Figura 03: Análise granulométrica do resíduo.
Fonte: elaborada pelos autores.

A imagem da Figura 2b mostra um bloco rompido após atingir seu limite de tensão. O tipo de rompimento é cônico, formato típico de um rompimento de peças de concreto e/ou solo-cimento submetidas a esforço de compressão. A Tabela 3 mostra os resultados dos dois ensaios (absorção de água e resistência), calculados a partir das equações (1) e (2).

As médias de absorção de água apresentaram valores muito similares nos diferentes tipos de traço (variações de no máximo +/- 2,5% em relação à absorção média de 15%). Já no caso de resistência à compressão, à medida que aumenta a porcentagem de resíduo, esta tem um acréscimo de resistência. Com a utilização de 8% de resíduo, atingiu-se uma resistência 15% maior do que a de uma mistura sem utilização de resíduo. As Tabelas 4 e 5 contêm as análises ANOVA realizadas para comparação das médias na absorção de água (Tabela 4) e na resistência à compressão (Tabela 5), com a utilização do teste de Tukey ($p < 0,05$).

Para o caso do estudo de absorção de água, observa-se (dados da Tabela 4) que, na comparação das médias, nenhum dos tipos difere da média, pois em todas as comparações realizadas o grau de significância foi maior que 0,05. Isso indica que a absorção não muda em função do aumento da utilização do resíduo. Como mostrado em outros estudos, a absorção depende da umidade de compactação da amostra e da pressão de prensagem. Neste estudo, a força de prensagem foi sempre a mesma (2 MPa), e a umidade de compactação (10%) também. As variações na absorção de água, sempre inferiores a 2,5%, são devidas ao fato de não haver uniformidade perfeita no processo de

CP/ Traço	Força rompimento (N)	Absorção de água (%)	Média da absorção	Resistência do bloco (Mpa)	Média da resistência
1.1	93219	15,73	15,39	2,98	3,11
1.2	103278	14,19		3,30	
1.3	94302	18,13		3,02	
1.4	97360	13,51		3,12	
2.1	103619	11,25	15,13	3,32	3,23
2.2	92354	19,09		2,96	
2.3	109123	12,69		3,49	
2.4	97860	17,47		3,13	
3.1	101167	14,06	14,93	3,24	3,30
3.2	100940	14,10		3,23	
3.3	105616	15,74		3,38	
3.4	105039	15,82		3,36	
4.1	104313	18,69	15,57	3,34	3,38
4.2	99682	13,63		3,19	
4.3	108900	15,73		3,48	
4.4	109500	14,23		3,50	
5.1	109710	15,87	14,68	3,51	3,51
5.2	112100	12,83		3,59	
5.3	104000	16,50		3,33	
5.4	112470	13,50		3,60	

Tabela 03: Forças de rompimento, absorção de água e resistência dos blocos de solo-cimento.

Fonte: elaborado pelos autores.

(I) Tipo	(J) Tipo	Diferença média (I-J)	Grau de Significância	Intervalo de Confiança 95%	
				Limite inferior	Limite superior
0% de Resíduo	1% de Resíduo	,265	1,000	-4,8563	5,3863
	2% de Resíduo	,460	,999	-4,6613	5,5813
	4% de Resíduo	-,180	1,000	-5,3013	4,9413
	8% de Resíduo	,715	,992	-4,4063	5,8363
1% de Resíduo	0% de Resíduo	-,265	1,000	-5,3863	4,8563
	2% de Resíduo	,195	1,000	-4,9263	5,3163
	4% de Resíduo	-,445	,999	-5,5663	4,6763
	8% de Resíduo	,450	,999	-4,6713	5,5713
2% de Resíduo	0% de Resíduo	-,460	,999	-5,5813	4,6613
	1% de Resíduo	-,195	1,000	-5,3163	4,9263
	4% de Resíduo	-,640	,995	-5,7613	4,4813
	8% de Resíduo	,255	1,000	-4,8663	5,3763
4% de Resíduo	0% de Resíduo	,180	1,000	-4,9413	5,3013
	1% de Resíduo	,445	,999	-4,6763	5,5663
	2% de Resíduo	,640	,995	-4,4813	5,7613
	8% de Resíduo	,895	,982	-4,2263	6,0163
8% de Resíduo	0% de Resíduo	-,715	,992	-5,8363	4,4063
	1% de Resíduo	-,450	,999	-5,5713	4,6713
	2% de Resíduo	-,255	1,000	-5,3763	4,8663
	4% de Resíduo	-,895	,982	-6,0163	4,2263

Tabela 04: Análise ANOVA. Comparação das médias de absorção de água pelo teste de Tukey
 Fonte: elaborado pelos autores.

(I) Tipo	(J) Tipo	Diferença média (I-J)	Sig.	Intervalo de Confiança 95%	
				Limite inferior	Limite superior
0% de Resíduo	1% de Resíduo	-,1200	,796	-,4521	,2121
	2% de Resíduo	-,1975	,390	-,5296	,1346
	4% de Resíduo	-,2725	,135	-,6046	,0596
	8% de Resíduo	-,4025 ⁽¹⁾	,014	-,7346	-,0704
1% de Resíduo	0% de Resíduo	,1200	,796	-,2121	,4521
	2% de Resíduo	-,0775	,948	-,4096	,2546
	4% de Resíduo	-,1525	,626	-,4846	,1796
	8% de Resíduo	-,2825	,115	-,6146	,0496
2% de Resíduo	0% de Resíduo	,1975	,390	-,1346	,5296
	1% de Resíduo	,0775	,948	-,2546	,4096
	4% de Resíduo	-,0750	,954	-,4071	,2571
	8% de Resíduo	-,2050	,356	-,5371	,1271
4% de Resíduo	0% de Resíduo	,2725	,135	-,0596	,6046
	1% de Resíduo	,1525	,626	-,1796	,4846
	2% de Resíduo	,0750	,954	-,2571	,4071
	8% de Resíduo	-,1300	,747	-,4621	,2021
8% de Resíduo	0% de Resíduo	,4025 ⁽¹⁾	,014	,0704	,7346
	1% de Resíduo	,2825	,115	-,0496	,6146
	2% de Resíduo	,2050	,356	-,1271	,5371
	4% de Resíduo	,1300	,747	-,2021	,4621

Tabela 05: Análise ANOVA. Comparação das médias de resistência a compressão pelo teste de Tukey.

Fonte: elaborado pelos autores.

Nota: (1) Diferença significativa.

produção. Em todos os traços, a absorção ficou abaixo de 20%, valor máximo que a normativa permite (ABNT, 2013c).

Para o caso do estudo de resistência à compressão do bloco de solo-cimento (dados da Tabela 5), pode-se observar que, ainda que as médias de resistência aumentem à medida que se utiliza mais resíduo, não se pode considerar que estas médias diferem entre si pela análise ANOVA, exceto na comparação do traço tipo 1 (0% de resíduo) com o traço tipo 5 (8% de resíduo). Para a comparação do traço 1 com o 5, o valor de significância obtido pelo teste de Tukey foi de 0,014 ($<0,05$). Isso significa que, quando a substituição de resíduo pelo solo é de no mínimo 8%, iniciam-se os ganhos estatisticamente significativos na resistência à compressão.

O gráfico da Figura 4, construído a partir dos dados da Tabela 3, permite avaliar a resistência em MPa apresentada pelos blocos nos testes de rompimento, de acordo com a porcentagem de água absorvida por eles. A reta de regressão mostrada tem inclinação de -0,042. Isso significa que, quando a absorção de água diminui 1%, a resistência à compressão do bloco de solo-cimento aumenta em média 0,042 MPa. No estudo de Santana et al. (2019), observa-se uma tendência parecida entre absorção de água e resistência à compressão: quanto menor a absorção de água, maior será a resistência.

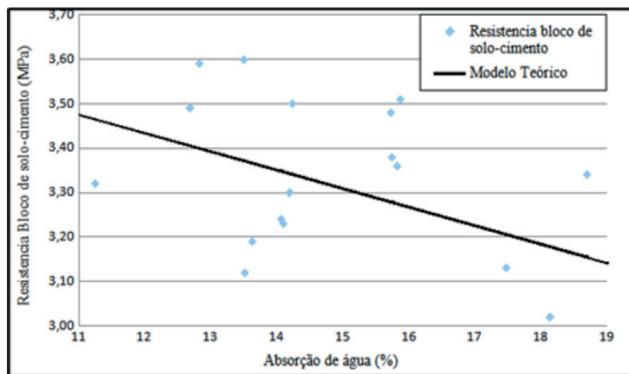


Figura 04: Reta de regressão linear da resistência à compressão em relação à absorção de água.
Fonte: elaborado pelos autores.

O gráfico da Figura 5, também construído a partir dos dados da Tabela 3, permite avaliar a resistência à compressão em MPa apresentada pelos blocos nos testes de rompimento, de acordo com a porcentagem de resíduos presentes na mistura. A reta nele traçada também é fruto de uma regressão linear com inclinação de 0,046. Isso significa que, à medida que se adiciona mais resíduo, observa-se uma melhora da resistência à compressão. Em média, para cada 1% de material de solo substituído pelo

resíduo, obtém-se um aumento de 0,046 Mpa na resistência à compressão do bloco de solo-cimento.

A NBR 10836/2013 estabelece que os blocos devem apresentar absorção de água inferior a 20%, portanto percebe-se que os resultados do presente estudo estão de acordo com as exigências da referida norma. Quanto aos resultados de resistência à compressão, conforme os dados do gráfico da Figura 5, pode-se inferir que, com o aumento percentual de resíduos incorporados, a resistência dos blocos aumenta.

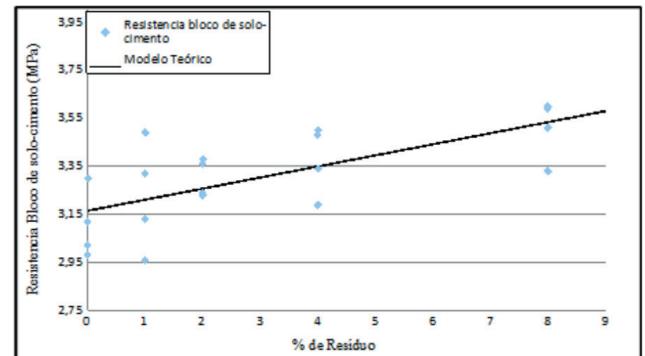


Figura 05: Reta de regressão linear da resistência à compressão em relação à % de resíduo.
Fonte: elaborado pelos autores.

Posteriormente, com o auxílio do aplicativo SPSS, foi verificado o grau de correlação entre os diferentes parâmetros em estudo e avaliado se esta correlação era estatisticamente significativa. Pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, constatou-se que a variável 'porcentagem de cimento' não podia ser considerada uma distribuição normal. Então, para avaliar a correlação entre as variáveis, apurou-se o coeficiente de Spearman. Os dados de correlação entre as variáveis e sua significância estatística estão dispostos na Tabela 6. Em síntese, as variáveis que se correlacionam são: porcentagem de resíduo e resistência (coeficiente de correlação forte, de 0,724); e absorção de água e resistência (coeficiente de correlação baixo, de -0,323). De acordo com o estudo estatístico, a utilização de maior ou menor quantidade de resíduo não influencia na porcentagem de absorção de água (coeficiente de correlação nulo, de -0,028). Como comentado anteriormente, o parâmetro no processo de produção que permite diminuir a absorção de água é o aumento da energia de compactação. E este parâmetro se manteve constante.

Avaliando os aspectos de significância estatística (Tabela 6), a única correlação significativa é a relação entre porcentagem de resíduo utilizado e resistência à compressão do bloco (valor de significância zero, menor que 0,01). Nas outras duas comparações entre variáveis, não há

correlação estatisticamente significativa. Quando se comparam as variáveis ‘porcentagem de utilização de resíduo’ e ‘absorção de água’, a comparação não é significativa, porque essas duas variáveis não se correlacionam. Ao se comparar as variáveis ‘absorção de água’ e ‘resistência à compressão’ dos blocos de solo-cimento, tampouco existe significância estatística (valor de significância de 0,908, superior a 0,01), apesar de as duas variáveis estarem correlacionadas. Em alguns casos, essa falta de significância pode ser devida ao baixo número de amostras rompidas.

Coeficiente de Spearman		% de Resíduo	Resistência	Absorção
% de Resíduo	Coeficiente de Correlação	1,000	,724 ⁽¹⁾	-,028
	Significância (2 extremidades)	.	,000	,908
	N	20	20	20
Resistência	Coeficiente de Correlação	,724 ⁽¹⁾	1,000	-,323
	Significância (2 extremidades)	,000	.	,165
	N	20	20	20
Absorção	Coeficiente de Correlação	-,028	-,323	1,000
	Significância (2 extremidades)	,908	,165	.
	N	20	20	20

Tabela 06: Análise ANOVA. Comparação das médias de resistência pelo teste de Tukey
Fonte: elaborada pelos autores.

Nota: (1) A correlação é significativa no nível 0,01 (2 extremidades).

Analisando-se o diagrama da Figura 6, que explicita as proporções ideais da composição dos solos utilizados para a produção de blocos de solo-cimento, pode-se entender melhor os resultados obtidos. O solo utilizado neste trabalho, por possuir 77,75% de areia, 20,75% de argila e 1,5% de silte, encontra-se dentro do perímetro ideal (área sombreada da Figura 6), porém em seu limite de borda (ponto A da imagem) para produção de blocos de solo-cimento.

A granulometria do resíduo utilizado é equivalente a uma areia (ponto B da figura). Isso nos permite entender, portanto, os baixos valores percentuais de resíduos admitidos para incorporação na mistura a fim de que se obtenham resultados satisfatórios, uma vez que a incorporação dos resíduos siderúrgicos é geradora de um aumento na quantidade final de areia presente na mistura. Isso confere maior resistência em longo prazo, porém a coesão é muito pequena, o que causa problemas na desforma dos blocos. Então, uma quantidade maior de resíduo aumentaria mais a resistência do bloco de solo-cimento, porém traria dificuldade para sua produção, pois, na hora da desforma, a coesão do bloco seria pequena e poderia

apresentar quebra no processo de produção antes de o bloco adquirir resistência.

Por falta de material argiloso no solo de referência utilizado neste estudo, caso os valores de resíduo utilizado fossem superiores a 10%, a mistura de solo com resíduo tenderia a ficar fora da zona ideal de produção dos blocos (segundo Figura 6). Só fosse utilizado um solo mais argiloso existiria a possibilidade de aumentar a porcentagem de resíduo.

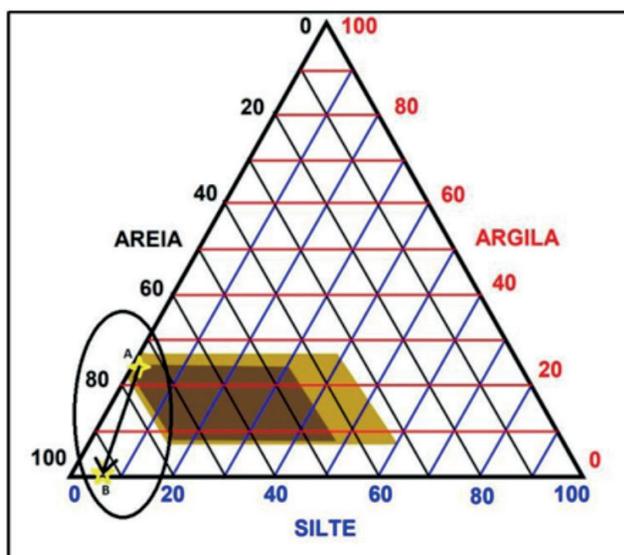


Figura 06: Diagrama indicativo de uso de solo para produção de blocos de solo-cimento.

Fonte: Imagem modificada de Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra – práticas de campo, Pg. 20, Rede Ibero-americana (NEVES et al. (2010, p. 20).

4. CONCLUSÕES

No que concerne à utilização de resíduo de pó de balão e escória de aciaria para a produção de blocos vazados de solo-cimento, eis as conclusões deste trabalho:

- Esses resíduos siderúrgicos podem ser utilizados na produção de blocos de solo-cimento em substituição de parte do solo;
- Quando as porcentagens utilizadas de resíduo são maiores a 8%, observa-se um aumento da resistência à compressão em torno de 15% no caso específico deste estudo (solo com porcentagem de argila de 22%);
- A utilização desses resíduos não alterou os valores de absorção de água dos blocos de solo-cimento;
- Quanto maior a quantidade de resíduos adicionada, maior a resistência à compressão dos blocos de solo-cimento em longo prazo, mas, em contrapartida, maior é a dificuldade de desforma. Sendo assim, entende-se que, para viabilizar produção

dos blocos, a máxima porcentagem de resíduos permitida na mistura seria de 10%, para o tipo de solo utilizado neste estudo. Caso o solo tivesse uma quantidade maior de argila (> 25%), seria possível utilizar uma quantidade de resíduo maior, em percentual idêntico ao aumento percentual da quantidade de argila existente no solo estudado;

- Para pesquisas futuras, recomenda-se um número maior de ensaios, para que se possa obter o grau de influência (r^2) em termos de resistência à compressão, devido à utilização do resíduo em estudo. Para obter este valor, são necessárias mais amostras, com mais dados referentes à variável 'porcentagem de cimento', a fim de que se possa ter uma distribuição normal desta variável no teste de Kolgomorov-Smirnov;
- Entende-se como pertinente a apresentação dos resultados às indústrias geradoras dos resíduos utilizados neste trabalho, pois se trata de uma proposta viável para a destinação final adequada desse material, a fim de melhorar as condições de sustentabilidade dessas indústrias e obter uma possível fonte de recursos para investimento em ciência, além de proporcionar melhores condições de vida para futuros usuários de edificações construídas com este tipo de material.

REFERÊNCIAS

AMANCIO, F. A.; LIMA, D. A.; DIAS, A. R. D. O.; MESQUITA, E. F. T.; CABRAL, A. E. B. Propriedades mecânicas de argamassas com substituição da areia natural por escória de aciaria BSSF (baosteel's slag short flow). **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 1, 2020. Não paginado. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620200001.0887>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10833: **Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica – Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10834: **Bloco de solo-cimento sem função estrutural-Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10836: **Bloco de solo-cimento sem função estrutural: análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de**

ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2013c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto– Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

AUGUSTO EUPHROSINO, C.; JACINTHO, A. E. P. G. D. A.; LORENA PIMENTEL, L.; CAMARINI, G.; FONTANINI, P. S. P. Tijolos de solo-cimento usados para Habitação de Interesse social (HIS) em mutirão: estudo de caso em olaria comunitária. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 1, 2022. Não paginado. DOI: <https://doi.org/10.1590/1517-7076-RMAT-2021-47087>.

BESSA, S. A. L. et al. Comportamento mecânico de alvenarias de terra com resíduos de construção e demolição. **MIX Sustentável**, Florianópolis, v. 5, n. 4, p. 53-62, 2019. DOI: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2019.v5.n4.53-62>.

CASTRO, M. A. M.; COSTA, F. G. D.; BORBA, S. C.; FAGURY NETO, E.; RABELO, A. A. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de blocos de solo-cimento formulados com coprodutos siderúrgicos. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 3, p. 666-676, 2016. Não paginado. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620160003.0064>.

CHAVES, N. O.; OLIVEIRA, R. M. P. B. As alternativas de aproveitamento do pó do alto-forno: uma revisão. **Revista Eletrônica Perspectivas da Ciência e Tecnologia**, Rio de Janeiro, v. 12, p. 188-198, 2020. DOI: <https://doi.org/10.22407/1984-5693.2020.v12.p.188-198>.

COSTA, S. N.; SANTOS, R. O. G. Utilização da escória de aciaria em combinação com solo para uso em camadas de pavimentação rodoviária. **Engineering Sciences**, Aracaju, v. 8, n. 1, p. 57-66, 2020. Disponível em: <https://sustenera.co/index.php/engineeringsciences/article/view/CBPC2318-3055.2020.001.0007>. Acesso em: 20 jan. 2023.

CRISTINA, P., SALOMÃO, P. E. A., CANGUSSÚ, L., & DE CARVALHO, P. H. V. Tijolo solo cimento com adição de fibra vegetal: uma alternativa na construção civil. **Research, Society and Development**, Itajubá, v. 7, n. 9, p. 1-18, 2018. Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/5606/560659016007/560659016007.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2023.

CUNHA, A. F. D.; MOL, M. P. G.; MARTINS, M. E.; ASSIS, P. S. Caracterização, beneficiamento e reciclagem

de carepas geradas em processos siderúrgicos. REM: **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 59, p. 111-116, jan./mar. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0370-44672006000100014>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2018.

FAY, L.; COOPER, P.; MORAIS, H. F. de. Innovative interlocked soil-cement block for the construction of masonry to eliminate the settling mortar. **Construction and Building Materials**, [S. l.], v. 52, p. 391-395, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.030>.

FERREIRA, R. D. C.; GOBO, J. C. D. C.; CUNHA, A. H. Incorporação de casca de arroz e de braquiária e seus efeitos nas propriedades físicas e mecânicas de tijolos de solo-cimento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 1, p. 1-11, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162008000100001>.

FRAGA, Y. S. B.; BARBOSA, A. Q.; SANTOS, L. H. P.; MOTA, W. V.; DORTAS, I. S. Tecnologia dos materiais: a utilização do tijolo de solo-cimento na construção civil. **Caderno de Graduação -Ciências Exatas e Tecnológicas**, Aracaju, v. 3, p. 3, p. 11-24, 2016. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/cadernoexatas/article/view/2882/1944>. Acesso em: 20 mar. 2022.

GIORGI, P.; GRIGOLETTI, G. D. C.; LIMA, R. C. A. D.; LORENZI, L. S. Avaliação de sustentabilidade e habitabilidade de blocos de solo-cimento segundo a norma ABNT NBR 15575. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 3, 2018. Não paginado. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620180003.0511>.

GOMES, M. I.; SANTOS, T.; GONILHO-PEREIRA, C.; FARIA, P. Construção com base em terra: contributo para a ecoeficiência na construção. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE SUSTENTABILIDADE NA GESTÃO AMBIENTAL. 2019, Lisboa. **Anais [...]**. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, 2019. P. 1-9. Disponível em: https://run.unl.pt/bitstream/10362/83184/1/CI_Gomes_et_al_Construcao_com_terra_SGA19_IST.pdf. Acesso em: 20 jan. 2023.

GRANDE, F. M. **Fabricação de tijolos modulares**

de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa 2003. 180 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18141/tde-07072003-160408/pt-br.php>. Acesso em: 20 jan. 2023.

KIM, B. I.; WEE, S. H.; LEE, S. H.; KIM, Y. U. Strength characteristics of soil-cement mixed with inorganic solidification liquid. **KSCE: Journal of Civil and Environmental Engineering Research**, [S. l.], v. 23, n. 3C, p. 135-141, 2003. Disponível em: <http://journal.auric.kr/jksce/Archive/200305/11>. Acesso em: 20 jan. 2023.

LACERDA, C.; CUNHA, J. C. S.; DELGADO JUNIOR, H. G.; PALMEIRA, A. A.; XAVIER, C. R.; CASTRO, J. A. Estudo de traços de argamassa utilizando escória de aciaria elétrica para produção de argamassa. **Cadernos UniFOA**, Volta Redonda, v. 11, n. 31, p. 13-21, 2016. DOI: 10.47385/cadunifoa.v11.n31.345.

LEOPOLDINO, C. C. L.; BARBOSA, D. C.; MENDONÇA, F. M. D.; INFANTE, C. E. D. D. C.; NOGUEIRA, E. A. T. Impactos ambientais e financeiros da implantação do gerenciamento de resíduos sólidos em um complexo siderúrgico: um estudo de caso. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 6, p. 1239-1250, nov./dez. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522019185146>.

LIMA, C. S. B.; CORDEIRO, L. C. A.; RIBEIRO, R. C., JOBEL JÚNIOR, V. ; GUIMARÃES, W. S.; BENARROSH, P. F. P. M. Produção, utilização e vantagens do cimento Portland e cp iv. **Revista Farociencia**, Porto Velho, c, 4, n. 1, 2016. Não paginado. <https://doi.org/10.36703/farociencia.v4i1.161>.

MAHDAD, M.; BENIDIR, A. Hydro-mechanical properties and durability of earth blocks: influence of different stabilisers and compaction levels. **International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development**, v. 9, n. 2, p. 44-60, 2018. Disponível em: <https://www.sbt-durabi.org/articles/article/aDGn/>. Acesso em: 20 jan. 2023.

MELO, T. V. de. **Influência da escória de aciaria LD no desempenho de concretos com baixo consumo de cimento**. 2020. 71 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Minas

Gerais, Belo Horizonte, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/35671#:~:text=Os%20resultados%20indicaram%20que%20o,51%20kg%20Fm%C2%B3%20FMPa>. Acesso em: 20 jan. 2023.

MENDES, M. V. A.; RIBEIRO, A. S.; OLIVEIRA, D. de A.; GARCIA, E. A. S.; AGAPITO, M. L. B. Utilização de rejeito magnético para moldagem de tijolos. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, São Paulo, v. 16, n. 4, p. 573-578, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/2176-1523.20191688>.

MINKE, G. Manual de construção com terra: uma arquitetura sustentável. São Paulo: B4 Editores, 2015. 225 p. NASCIMENTO, Á. M.; FEITOSA, A. de O.; SILVA ALMEIDA, T. da; LACERDA, D. M. de. Tijolo modular de solo-cimento como material na construção. **Revista InterScientia**, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 187-202, 2018. Disponível em: <https://periodicos.unipe.br/index.php/interscientia/article/download/645/527>. Acesso em: 20 fev. 2022.

NASCIMENTO, E. S. S.; SOUZA, P. C. de; OLIVEIRA, H. A. de; MELO JÚNIOR, C. M. M.; ALMEIDA, V. G. de O.; MELO, F. M. C. de. Soil-cement brick with granite cutting residue reuse. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 321, 2021. Não paginado. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129002>.

NEGREIROS, R. L.; NUNES, K. G.; BISPO, C.; MORAIS, A. de. Comparativo sustentável e econômico entre a utilização do tijolo solo-cimento e o tijolo cerâmico de vedação em habitação de interesse social na cidade de Teófilo Otoni-MG. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, Limeira, p. 287-210, dez. 2018. Disponível em: https://revistas.unipacto.com.br/storage/publicacoes/2018/comparativo_sustentavel_e_economico_entre_a_utilizacao_do_tijolo_solo__279.pdf. Acesso em: 20 jan. 2023.

NEVES, C. M. M.; FARIA, O. B.; ROTONDARO, R.; CEVALLOS, P. S.; HOFFMANN, M. V. **Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra – práticas de campo**. [S. l.]: Rede Ibero-americana Proterra, 2009. Disponível em: <http://redeterrabrasil.net.br/wp-content/uploads/2022/12/Manual-Selecao-de-solos-Faria-Neves-2009.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2023.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

OLIVEIRA, E. B. **Escórias de aciaria e resíduos de concretos refratários em componentes de pavimentação**. 2007. 128 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/ENGD-7ABNJZ>. Acesso em: 20 jan. 2023.

OLIVEIRA, M. R.; FERNANDES, D. M.; BÔAS, R. L. V.; BACKES, C.; DE GODOY, L. J. G.; DO SANTOS, A. J. M. Correção do solo para plantio de grama bermuda utilizando escória de aciaria ou calcário. **Ornamental Horticulture**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 475-485, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/2447-536x.v26i3.2203>.

PAGIO, M. Z.; CARRARETO, L. F.; VIEIRA, G. L.; MAGALHÃES, D. C. Caracterização de resíduos siderúrgicos visando à aplicação em matrizes cimentícias. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 22, n. 2, p. 167-186, abr./jun. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212022000200599>.

PAVERS, R. I.; EL POLVO, D. S. Estudo da substituição parcial do pó de pedra por pó de balão, resíduos de porcelanato e borracha de pneu em pavers. **Revista Brasileira de Iniciação Científica**, Itapetininga, v. 7, n. 1, p. 118-148, jan./mar. 2020. Disponível em: <https://periodicos.itp.ifsp.edu.br/index.php/IC/article/view/1502/1201>. Acesso em: 20 jan. 2023

PEDROTI, G. L. **Desenvolvimento de massa cerâmica com uso de resíduo de granito para obtenção de blocos cerâmicos prensados de encaixe de matriz argilosa**. 2011. 174 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos do Goytacazes, 2011. Disponível em: https://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/tese_doutorado_leonardo_g_pedroti.pdf. Acesso em: 20 jan. 2023.

ROHDE, L.; NUNEZ, W. P.; CERATTI, J. A. P. Escoria de aciaria elétrica: uma alternativa aos materiais granulares tradicionais. **Transportes**, v. 11, n. 1, p. 13-17, 2003. DOI: <https://doi.org/10.14295/transportes.v11i1.115>.

SANTANA, P. S.; CARVALHO, F. A. de; PRAT, B. V.; VIEIRA, F. T. Influência da vibração na moldagem de corpos de

prova de solo-cimento: Sob os resultados de ensaios de absorção de água e resistência à compressão simples. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, Ano 4, v. 2, n. 12, p. 102-116 dez. 2019. Disponível em: -. Acesso em: 20 jan. 2023.

SANTOS, A. L. dos; PITANGA, H. N.; SILVA, A. C. B.; SILVA, T. O. da. Caracterização do comportamento mecânico de misturas de solo-escória de aciaria-cinza volante visando a aplicação em pavimentação. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 7, n. 1, p. 16-29, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rber.v7i1.57963>

SANTOS, D. P.; BESSA, S. A. L. O uso do adobe no Brasil: uma revisão de literatura. **Mix Sustentável**, Florianópolis, v. 6, n. 1, p. 53-66, 2020. DOI: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2020.v6.n1.53-66>.

SHALABI, F. I.; ASI, I. M.; QASRAWI, H. Y. Effect of by-product steel slag on the engineering properties of clay soils. **Journal of King Saud University-Engineering Sciences**, v. 29, n. 4, p. 394-399, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2016.07.004>.

SOUZA, M. I.; SEGANTINI, A. A.; PEREIRA, J. A. Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 205-212, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/x3zyWVxQJPst4DWZyY3WqD/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 20 jan. 2023.

VENKATARAMA, R. B. V.; LATHA, M. S. Influence of soil grading on the characteristics of cement stabilised soil compacts. **Materials and Structures**, [S. l.], v. 47, n. 10, p. 1633-1645, 2014. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1617/s11527-013-0142-1>. Acesso em: 20 jan. 2023.

VENKATARAMA, R. B. V.; PRASANNA K., P. Cement stabilised rammed earth. Part A: compaction characteristics and physical properties of compacted cement stabilised soils. **Materials and structures**, [S. l.], v. 44, n. 3, p. 681-693, 2011. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1617/s11527-010-9658-9>. Acesso em: 20 jan. 2023.

VILELA, A. P.; EUGÊNIO, T. M. C.; OLIVEIRA, F. F. de; MENDES, J. F.; RIBEIRO, A. G. C.; BRANDÃO, L. E. V. D.

S.; MENDES, R. F. Technological properties of soil-cement bricks produced with iron ore mining waste. **Construction and Building Materials**, [S. l.], v. 262, 2020. Não paginado. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120883>.

WALKER, P.; STACE, T. Properties of some cement stabilised compressed earth blocks and mortars. **Materials and structures**, [S. l.], v. 30, n. 9, p. 545-551, 1997. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02486398>. Acesso em: 20 jan. 2023.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Programa de Mestrado Profissional em Saúde, Sociedade e Meio Ambiente e ao Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal dos Vales de Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), instituição onde foi realizado este trabalho de pesquisa; ao Laboratório de Tecnologia da Madeira, no Departamento de Engenharia Florestal da UFVJM; à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes); à Pró-Reitoria de Pós-Graduação da UFVJM; à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig); e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de produtividade em pesquisa (Processo 310398/2022-3).

AUTORES

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5103-3492>

VICTOR FRANÇA CAMPOLINA | Faculdade Una de Sete Lagoas - Unaset, Av. Secretário Divino Padrão, 1.411 - Santo Antônio, Sete Lagoas - MG, Brasil. CEP: 35702-075). E-mails: vfcampolina@hotmail.com / vcampolina09@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9327-7839>

MATEUS GOMES BRETAS | Faculdade Anhanguera de Ipatinga - Rua Jequitibá, nº 401, Bairro Horto, Ipatinga-MG, Brasil. CEP: 35.160-306 - empresa pertencente à Orme Serviços Educacionais LTDA) - E-mails: mateusgbretas1@gmail.com / mateus.bretas@ufvjm.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1382>

FRANK ALISON DE CARVALHO | Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - Instituto de Ciência e Tecnologia - Diamantina - MG - Brasil)

- Endereço profissional: UFVJM - Campus JK - Alto da Jacuba - Diamantina/MG - CEP 39100.000 - E.mail: frank.carvalho@ict.ufvjm.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6735-0625>

RICARDO DE OLIVEIRA BRASIL COSTA | Mestre em Saúde, Sociedade e Ambiente - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri Diamantina - MG - Brasil) - Endereço profissional: UFVJM - Campus JK - Alto da Jacuba - Diamantina/MG - CEP 39100.000 - E.mail: ricardobrasil@ufvjm.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0002-2811>

BERNAT VINOLAS PRAT | Doutor em engenharia da construção pela Universidade Politécnica de Catalunha - Barcelona - Espanha) - Endereço profissional: UFVJM - Campus JK - Alto da Jacuba - Diamantina/MG - CEP 39100.000 - Email: bernat.vinolas@ict.ufvjm.edu.br

ROBC - conceituação, curadoria de dados, análise formal, administração de projetos, supervisão, validação, visualização, escrita - rascunho original, escrita - revisão & edição.

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

Declaração de conflito: nada foi declarado.

COMO CITAR ESTE ARTIGO

CAMPOLINA, Victor França; BRETAS, Matheus Gomes; CARVALHO, Frank Alison de; COSTA Ricardo de Olivera Brasil; PRAT, Bernat Vinolas. Incorporação de Resíduos Siderúrgicos à Confeção de Blocos de Solo-Cimento. **MIX Sustentável**, v. 9, n. 3, p. 83-100, 2023. ISSN 2447-3073. Disponível em: <<http://www.nexus.ufsc.br/index.php/mixsustenta-vel>>. Acesso em: __/__/__. doi: <<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n3.83-100>>.

SUBMETIDO EM: 26/11/2022

ACEITO EM: 13/04/2023

PUBLICADO EM: 30/07/2023

EDITORES RESPONSÁVEIS: Helena Maria Coelho da Rocha e Lisiane Ilha Librelotto.

Registro da contribuição de autoria:

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

VFC: curadoria de dados, investigação, validação, visualização, escrita - rascunho original.

MGB: curadoria de dados, investigação, validação, visualização, escrita - rascunho original.

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

O USO DE ATIVOS DE PROPRIEDADE INDUSTRIAL NA CADEIA DE VALOR DA CACHAÇA

THE USE OF INDUSTRIAL PROPERTY ASSETS IN THE CACHAÇA VALUE CHAIN

EL USO DE ACTIVOS DE PROPIEDAD INDUSTRIAL EN LA CADENA DE VALOR DE LA CACHAÇA

LEONARDO FALANGOLA MARTINS | ACAD/INPI - Academia de Propriedade Intelectual, Inovação e Desenvolvimento do Instituto Nacional da Propriedade Industrial

SANDRA BRITES | ACAD/INPI - Academia de Propriedade Intelectual, Inovação e Desenvolvimento do Instituto Nacional da Propriedade Industrial

RESUMO

A cachaça é uma bebida alcoólica destilada típica do Brasil, com capacidade de produção anual de cerca de 1,2 bilhão de litros, dos quais 800 milhões de litros são produzidos anualmente, gerando mais de 600 mil empregos. Este estudo buscou sistematizar informações sobre o uso de ativos de propriedade industrial (PI) na sua cadeia de valor, identificando lacunas e potencialidades para incrementar a aplicação desses ativos no suporte ao desenvolvimento econômico do setor. Para isso, foram levantadas e sistematizadas informações sobre essa indústria junto às bases de dados do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), do Censo Agropecuário do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e em publicações do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Os resultados indicaram apenas três registros de Indicações Geográficas, três registros de Desenho Industrial, 111 pedidos de patente nacionais, 38 pedidos de patente internacionais e 1.667 marcas registradas no INPI. No Ministério da Agricultura foram indicados 4.743 marcas de cachaça registradas e no Censo do IBGE foram encontrados 11.028 produtores de aguardente, incluindo de cachaça, no país. As evidências apontaram que em sua cadeia de produção os ativos de PI estão sendo subexplorados. Entre as lacunas encontradas, destaca-se o potencial de incrementar a exploração das Indicações Geográficas, dada a diversidade de regiões produtoras no país e suas características intrínsecas de terrenos e produtos. Também foi apontado o potencial de explorar Desenhos Industriais e Patentes voltados para os produtos e processos desenvolvidos na indústria da cachaça.

PALAVRAS CHAVE

Propriedade intelectual; propriedade industrial; destilados; cachaça.

ABSTRACT

Cachaça is a Brazilian distilled alcoholic beverage and has an annual installed production capacity of approximately 1.2 billion liters, with 800 million liters produced per year. This industry generates more than 600,000 jobs. The present study aimed to systematize information about the use of industrial property (IP) assets in the cachaça value chain, identifying gaps and potentialities to increase the use of these assets in support of the economic development of this industry. To this end, data regarding the sector was gathered and organized from the databases of the Brazilian IP Office, the Brazilian agricultural census, as well as publications from the Brazilian Ministry of Agriculture. The Brazilian IP database revealed a limited number of registrations, including three geographical indications, three industrial designs, 111 national patent applications, 38 international patent applications, and 1,667 trademarks. In contrast, the



Brazilian Ministry of Agriculture has registered 4,743 cachaça trademarks, and the agricultural census revealed the existence of 11,028 producers of distilled beverages made from sugarcane, including cachaça, in the country. The findings suggest that the industry is underexploiting IP assets within its value chain. Among the identified gaps, the study found potential opportunities for increasing the use of geographical indications, given the diversity of producing regions and their intrinsic characteristics of land and products. Additionally, the study found potential for exploiting industrial designs and patents for products and processes developed in this industry.

KEY WORDS

Intellectual property; industrial property; spirits; cachaça.

RESUMEN

La cachaça es una bebida alcohólica destilada típica de Brasil, con una capacidad de producción anual de alrededor de 1,2 mil millones de litros, de los cuales se producen anualmente 800 millones de litros, generando más de 600 mil empleos. Este estudio buscó sistematizar información sobre el uso de activos de propiedad industrial (PI) en su cadena de valor, identificando lagunas y potencialidades para incrementar la aplicación de estos activos en el soporte al desarrollo económico del sector. Para esto, se levantó y sistematizó información sobre esta industria junto a las bases de datos de la oficina de propiedad industrial brasileña (INPI/BR), del Censo agropecuario brasileño y en publicaciones del Ministerio de agricultura, ganadería y abastecimiento de Brasil. Los resultados indicaron solo tres registros de Indicaciones Geográficas, tres registros de Diseño Industrial, 111 pedidos de patente nacionales, 38 pedidos de patente internacionales y 1.667 marcas registradas en el INPI/BR. En el Ministerio de agricultura se indicaron 4.743 marcas de cachaça registradas y en el Censo agropecuario se encontraron 11.028 productores de aguardiente, incluyendo cachaça, en el país. Las evidencias apuntaron que en su cadena de producción los activos de PI están siendo subexplotados. Entre las lagunas encontradas, se destaca el potencial de incrementar la explotación de las Indicaciones Geográficas, dada la diversidad de regiones productoras en Brasil y sus características intrínsecas de terrenos y productos. También se señaló el potencial de explotar Diseños Industriales y Patentes enfocados en los productos y procesos desarrollados en la industria de la cachaça.

PALABRAS CLAVE

Propiedad intelectual; propiedad industrial; destilados; cachaça.

1. INTRODUÇÃO

Cachaça é uma denominação para a aguardente de cana-de-açúcar com características específicas. Ela é uma bebida alcoólica destilada, genuinamente brasileira, contendo entre 38% e 48% de etanol (v/v) a 20°C, obtida pela destilação do caldo da cana fermentado, podendo ser envelhecida ou não (MAPA, 2005; BORTOLETTO; ALCARDE, 2013).

A aguardente de cana é a bebida destilada mais consumida no país e é a quarta bebida destilada mais consumida no mundo (BORTOLETTO; ALCARDE, 2015). A cachaça, especificamente, está intimamente ligada ao patrimônio cultural e às características geográficas do Brasil (PORTUGAL et al., 2017).

Assim como outros produtos que possuem características distintas em seu mercado, a cachaça pode se beneficiar do uso adequado dos direitos de propriedade intelectual (DPI). Essa estratégia pode ser relevante para promover e valorizar a bebida, buscando aumentar sua competitividade e rentabilidade tanto no mercado nacional quanto internacional. Além disso, medidas que protegem sua identidade e reputação, e garantem a exclusividade de sua comercialização e uso, podem aumentar seu valor agregado (BELLETTI et al., 2007).

Os ativos de propriedade intelectual (PI), com destaque para a propriedade industrial, têm como objetivo proteger e valorizar os aspectos intangíveis das empresas, permitindo que elas obtenham vantagens econômicas em seus mercados. Os direitos de exclusividade envolvidos garantem vantagens competitivas para o detentor de tais direitos. Portanto, a aplicação adequada desses recursos depende das estratégias de negócio de cada empresa, mas ignorá-los pode resultar em grandes desvantagens competitivas (AL-AALI; TEECE, 2013).

Os indicadores relacionados à PI apontam para o aumento na procura pelos DPI nos principais escritórios de concessão desses direitos do mundo, principalmente após a intensificação da atuação da China nesse campo, como no caso das patentes (OMPI, 2022, p. 11). No Brasil, essa procura tem sido menos intensa e, pelo menos no campo das patentes, é predominantemente impulsionada por não residentes no país (INPI, 2021b, p. 10).

A promoção do uso de instrumentos de PI como meio de valorização da indústria nacional requer a identificação dos ativos de DPI mais ou menos demandados no país, bem como a diferenciação entre os setores já sensibilizados e aqueles que ainda não reconhecem a importância da questão. Com base nessas constatações, é possível

identificar lacunas no uso desses ativos, que podem ser superadas por meio de incentivos públicos e privados, como forma de valorizar os negócios.

Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivo sistematizar informações sobre o uso de ativos de PI na cadeia de valor da cachaça. Diante das lacunas identificadas, foram avaliadas as possibilidades de ampliar o uso desses ativos para apoiar o desenvolvimento econômico dos negócios que envolvem esse produto de perfil nacional.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A cachaça é um destilado que pode ser produzido de duas formas distintas: artesanalmente, em alambiques de cobre, ou industrialmente, em colunas de aço inoxidável. Esses dois métodos de produção geram cachaças com características sensoriais diferentes (MAPA, 2005; FIGUEIREDO, 2012; JANNUZZI, 2021b).

No processo artesanal, a cachaça é separada em três frações distintas: a cabeça (78% v/v), a coração (57% v/v) e a cauda (27% v/v), que apresentam diferentes concentrações de componentes capazes de gerar percepções sensoriais variadas para o degustador (RECHE; FRANCO, 2009). Já nas colunas industriais, o processo de destilação é de fluxo constante, o que impede a sedimentação do destilado em frações distintas, resultando em um produto homogêneo (MAPA, 2005; RECHE; FRANCO, 2009).

A experiência de degustação das cachaças produzidas por esses dois métodos também é diferente. O produto resultante de cada um dos métodos carrega consigo características químicas particulares, resultantes do cobre dos alambiques e do aço das colunas. No caso da cachaça produzida nos alambiques, distinguem-se ainda pelos seus fracionamentos. Essas influenciam no sabor e no aroma do produto final (RECHE; FRANCO, 2009).

De acordo com o Instituto Brasileiro da Cachaça (IBRAC, 2023), a capacidade instalada de produção de cachaça no Brasil é de cerca de 1,2 bilhão de litros anuais, dos quais 800 milhões de litros são efetivamente produzidos. Sua produção gera mais de 600 mil empregos diretos e indiretos no país. O faturamento total alcança US\$6 bilhões e o consumo nacional médio anual per capita é de 6,3 litros (BORTOLETTO; ALCARDE, 2015).

O IBRAC (2023) aponta o Sudeste e o Nordeste como as principais regiões produtoras de cachaça. São Paulo, Pernambuco, Ceará, Minas Gerais e Paraíba são os estados que mais produzem. Em relação ao consumo, São Paulo e Pernambuco também lideram a lista, seguidos do Rio de Janeiro, do Ceará, da Bahia e de Minas Gerais lideram a lista.

O produto é consumido majoritariamente no Brasil, sendo exportado apenas 1% da sua produção anual. Do total da produção, 70% é feita de maneira industrial e 30% em alambiques.

Em razão da crescente demanda por produtos de maior qualidade no mercado, inclusive no setor de bebidas destiladas, como a cachaça, os produtores estão buscando soluções para enfrentar os novos desafios de mercado. Entre as soluções, destaca-se a necessidade de adequação aos requisitos de composição química necessários para a exportação para países estrangeiros; o atendimento a padrões de qualidade à medida que os volumes de produção aumentam; a qualificação da mão de obra e o investimento em máquinas e equipamentos avançados para aumentar a produtividade (BORTOLETTO, 2021).

A Câmara Setorial da Cadeia Produtiva da Cachaça estabeleceu, por meio das Diretrizes Estratégicas da Cadeia Produtiva da Cachaça de 2021 (MAPA, 2021b), um "Plano ofensivo", com foco no mercado, e um "Plano defensivo", com foco no próprio setor. O Plano ofensivo previu seguir rigorosamente os padrões de identidade e qualidade, com foco no consumidor dos mercados nacional e internacional. Também definiu a elaboração e operacionalização de um programa único de promoção e comunicação, nacional e internacional, para fortalecer a cachaça como Indicação Geográfica (IG). Ainda determinou o desenvolvimento da inteligência competitiva da cachaça, inovando em toda a cadeia produtiva e explorando a gastronomia, a coquetelaria e o turismo criativo (MAPA, 2021b, p. 36).

No Plano defensivo, destacaram-se a exploração e adoção de novos modelos de negócio; a reorganização da cadeia de valor setorial e o uso de tecnologias adequadas e acessíveis. Além disso, indicou o objetivo de desenvolver um programa de capacitação em gestão e assistência para micro e pequenas empresas, com foco em qualidade e sustentabilidade financeira (MAPA, 2021b, p. 37).

Considerando as propostas da Câmara Setorial que visam promover a cachaça de maneira competitiva e com novos modelos de negócio no mercado, percebeu-se a oportunidade que os DPI oferecem como ferramentas auxiliares para o atingimento dessa meta. Isso porque os ativos de PI têm o potencial de impulsionar esse processo e aumentar a reputação do produto, garantindo a exclusividade de sua comercialização e uso nos mercados-alvo.

2.1. Propriedade Industrial

A PI é utilizada estrategicamente pelas maiores e mais fortes economias mundiais como elemento central nas

políticas públicas econômicas e de desenvolvimento de países e regiões (PEIXOTO; BUAINAIN, 2021, p. 11). De maneira contígua, setores produtivos privados dessas economias estabelecem estratégias que se beneficiem dos DPI para aumentar os ganhos dos seus negócios.

Os DPI, definidos na Lei da Propriedade Industrial (LPI) brasileira (Lei nº. 9.279/1996), incluem patentes de invenção e de modelo de utilidade, registros de desenho industrial e de marcas e indicações geográficas. Existem também ativos regulamentados por normas específicas, como o direito de proteção de cultivares (Lei nº. 9.456/1997) e os certificados de programas de computador e de topografias de circuitos integrados (Lei nº. 9.609/1998).

As patentes são concedidas pelo Estado brasileiro com garantia de exclusividade aos seus titulares, em território nacional, para produzir, usar, colocar à venda, vender ou importar o invento nelas reivindicado. Elas podem ser patentes de invenção, para soluções técnicas não óbvias em comparação aos padrões tecnológicos conhecidos, ou patentes de modelo de utilidade, para os inventos incrementais, não comuns, em objetos já conhecidos em seu meio tecnológico (BRASIL, 1996).

Os desenhos industriais se referem à proteção e exclusividade sobre uma "forma plástica ornamental de um objeto ou o conjunto ornamental de linhas e cores que possam ser aplicados a um produto, proporcionando resultado visual novo e original na sua configuração externa e que possam servir como tipo de fabricação industrial" (BRASIL, 1996, Art. 95).

As marcas tratam de nomes e/ou imagens que identificam um produto ou serviço. Seu registro gera o direito de exclusividade de uso para seus titulares. Elas também podem se apresentar, por exemplo, como marca de certificação, "usada para atestar a conformidade de um produto ou serviço com determinadas normas ou especificações técnicas, notadamente quanto à qualidade, natureza, material utilizado e metodologia empregada"; ou como marca coletiva, "usada para identificar produtos ou serviços provenientes de membros de uma determinada entidade" (BRASIL, 1996, artigo 123).

As indicações geográficas (IG) são a proteção concedida à identificação de origem de um produto ou serviço com qualidade específica, que se relaciona com sua origem geográfica, sendo uma indicação de procedência, ou quando seu local de origem é reconhecido por um produto ou serviço, sendo uma denominação de origem (BRASIL, 1996).

As IG conferem maior valor agregado aos produtos e serviços, criam vínculo de confiança com o consumidor

e preservam as particularidades dos produtos, patrimônio das regiões abrangidas (FABRIS et al., 2012). Cumpre ressaltar ainda que essa proteção permite que o direito de uso da IG seja reservado aos produtores da região de sua abrangência, combatendo apropriações indevidas (PUHLMANN; MOREIRA, 2004).

A proteção conferida às IG pode potencialmente valorizar as propriedades rurais dos territórios associados, fomentando a emergência de novas empresas, ampliando a oferta de empregos e serviços correlacionados ao turismo e à gastronomia local e contribuindo para a redução do êxodo rural (FERNANDES et al., 2018). Esse efeito se dá pelo fato de a reputação de uma IG poder beneficiar outros bens e serviços do mesmo território, favorecendo o desenvolvimento local, estimulando o surgimento de novos empreendimentos e possibilitando o aumento da renda da população (PROVENZI, 2021).

Nesse contexto, as IG se destacam como política pública voltada ao desenvolvimento, especialmente no âmbito regional. Como consequência positiva, tem sido possível observar no Brasil um incremento na autoestima dos produtores e prestadores de serviços registrados como IG (SEBRAE; INPI, 2016).

Alguns DPI são considerados *sui generis*, não estando listados na LPI (Lei nº. 9.279/1996). Esse é o caso do Certificado de Proteção de Cultivar, que segue legislação própria (Lei nº. 9.456, de 1997) e que dá ao seu titular o direito exclusivo de utilização de plantas ou suas partes para reprodução ou multiplicação vegetativa.

O registro de programas de computador também não está incluído no conjunto específico dos DPI, mas está sob a tutela da Lei do Direito Autoral (Lei nº. 9.610, de 1998) e da Lei de Software (Lei nº. 9.606, de 1998). Mesmo estando protegidos desde a sua criação, em função do Direito Autoral, o registro desses programas de computador junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) lhes confere maior segurança jurídica no campo dos negócios.

A PI oferece uma ampla gama de oportunidades para a valorização de produtos e serviços transacionados no mercado. Em um ambiente comercial globalizado e altamente competitivo, ela vem ganhando destaque como uma estratégia empresarial crucial (AL-AALI; TEECE, 2013). Como resultado, a demanda por ativos de PI aumentou significativamente nos escritórios de DPI com destaque global. De acordo com o Diretor Geral da Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI), Daren Tang (OMPI, 2022, p. 4), o número de pedidos de patentes aumentou em 3,6%, os pedidos de registro de marcas

aumentaram em 5,5% e os pedidos de proteção de desenhos industriais aumentaram em 9,2% em todo o mundo no ano de 2021.

A despeito da busca crescente por esses ativos no âmbito mundial, o que se observa no Brasil (Figura 01) é um nível de interesse dos residentes nacionais ainda abaixo da média mundial. Essa situação é observada especialmente na procura por patentes (INPI, 2021b, p. 10; OMPI, 2022, p. 22).

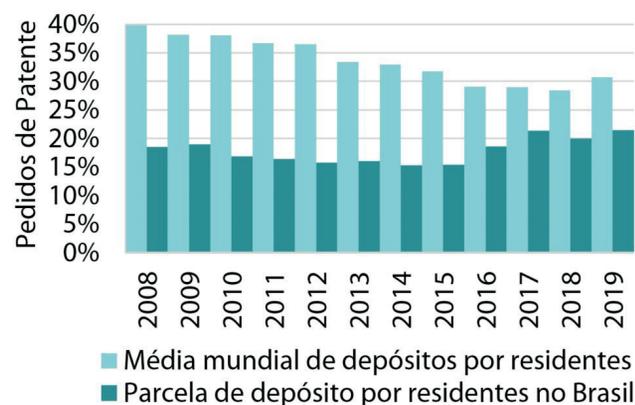


Figura 01: Média mundial e percentual brasileiro de depósitos de pedidos de patente de invenção por residentes (2008-2019).
Fonte: INPI (2021) e OMPI (2022).

No contexto da cadeia de valor da cachaça, esse cenário de baixo interesse nesses ativos é observado. Isso se deve em parte à baixa disseminação do sistema de PI brasileiro, bem como à falta de políticas públicas setoriais agressivas para estimular sua adoção no país. Para superar esses desafios, é essencial que haja maior suporte governamental ao INPI (BUAINAIN; SOUZA, 2019; GUIMARÃES, 2015).

2.2. Setor de agronegócios nacional e a Propriedade Industrial

Os sistemas de produção e de prestação de serviços de qualquer natureza tendem a introduzir inovações que os ajudem a criar modelos de negócios, produtos, processos e serviços que diferenciem as empresas em seus mercados. Tal tendência desencadeia estratégias e ações que abrangem o desenvolvimento de novas soluções tecnológicas que promovam a melhoria de qualidade e a ampliação de rentabilidade (BARBIERI et al., 2010). No entanto, diversos segmentos da produção permanecem resistentes ou apenas não compreendem como capturar os benefícios de uma gestão eficaz do conhecimento resultante do desenvolvimento, difusão e adoção dessas novas tecnologias (EMBRAPA, 2018).

Nos últimos trinta anos, as empresas brasileiras de todos os setores agrícolas obtiveram avanços notáveis em termos de produtividade. No entanto, passaram a enfrentara desafios em um ambiente altamente incerto, com restrições orçamentárias que podem persistir por anos (CHADDAD, 2016). Essa realidade teve um impacto significativo nos modelos de negócio e nas estratégias corporativas das empresas no setor (PHILLIPS et al., 2013).

Diante disso, o Estado brasileiro implementou uma série de políticas públicas em resposta aos desafios postos. Dentre elas, uma importante medida foi o estímulo à adoção de novos modelos de financiamento para a qualificação dos trabalhadores. Além disso, foram concedidas deduções fiscais para empresas que investem em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) ou que tenham adquirido bens de capital. Adicionalmente, o Estado tem disponibilizado fundos de custos irrecuperáveis para promover pesquisa conjunta entre universidades e empresas (LASTRES, et al, 2018).

Assim, as pequenas empresas de alta tecnologia do setor agropecuário, também conhecidas como "Agtechs", adquiriram importância no país. Esse crescimento foi impulsionado tanto pela implementação de políticas públicas incentivadoras quanto pela demanda das empresas agropecuárias, que buscaram soluções para lidar com os desafios de produtividade, concorrência acirrada, avanço de competidores internacionais e desenvolvimento de novos produtos (ROMANI et al., 2020).

Nesse contexto, a gestão estratégica dos ativos intangíveis, que incluem a PI, mostra-se fundamental para a apropriação do desenvolvimento tecnológico e para o estabelecimento de vantagens competitivas, notadamente para as empresas que empreendem inovações tecnológicas (CHAMAS, 2003; LUNA et al., 2007).

Segundo Chamas (2003) e Luna, Baessa e Alves (2007), a gestão desses ativos intangíveis está diretamente ligada ao sucesso empresarial. Em consequência, proteger, desenvolver e explorar adequadamente os ativos de PI tornaram-se questões intrínsecas à formulação de estratégias empresariais. No entanto, para muitas empresas isso ainda não é uma realidade. O crescimento da importância dos DPI requer mudanças na forma pela qual as empresas e, por extensão, os gestores visualizam e utilizam esses ativos.

A PI pode ser fonte de inovação, criatividade e crescimento empresarial, mas para se obter êxito, requer ser entendida estrategicamente. Marcas, Patentes, Desenhos Industriais, Indicações Geográficas e outras formas de DPI estão imbricados com vários aspectos de um negócio, desde a forma como são comercializados produtos e serviços, à maneira como são considerados nos demonstrativos

financeiros (MADDOX, 2007).

Ainda é constrito o uso desses ativos pelos residentes no país (INPI, 2022a). O que indica que a indústria nacional parece ainda não se preocupar com a crescente busca de empresas estrangeiras por esses ativos em território brasileiro. Nesse sentido, é salutar que o Estado, a academia e as instâncias de apoio e fomento a indústrias movimentem-se para sensibilizar o mercado nacional sobre a importância da inserção dos DPI nas estratégias de negócio das empresas nacionais. Caso contrário, resta inibida a possibilidade de conquista de mercados estrangeiros e restringidas as barreiras de entrada de concorrentes internacionais no mercado brasileiro.

Foi nessa direção que esse estudo abordou a cadeia de valor da cachaça, um produto legitimamente nacional e cujo potencial de se beneficiar pelo uso dos DPI se manifesta, a nosso ver, de maneira incontestável.

3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Foi realizada uma pesquisa na literatura especializada. As fontes bibliográficas para este estudo foram pesquisadas nas bases de periódicos Capes e Web of Science. Foram considerados os artigos revisados por pares, a partir de 2001. Os termos usados na busca foram "cachaça" OR "liquor" AND "distilled" AND "industrial property" AND "geographical indication", resultando em 22.182 publicações encontradas. Também foi feito um levantamento de ativos de PI (Indicações Geográficas, Desenhos Industriais, Patentes e Marcas) relacionados à cachaça nas bases de dados públicas do INPI.

Assim, foi consultada a lista brasileira de IG e foram levantados os documentos oficiais relacionados a essas IG. Além disso, foi feita uma busca por pedidos de Desenhos Industriais nacionais, sem recorte temporal e utilizando o campo de busca dos títulos. Foram procurados documentos contendo as palavras "Cachaça" ou "Aguardente".

Em seguida, foi realizada uma busca por pedidos de patente, na base de dados do INPI, que mencionassem os termos "cachaça" ou "aguardente". Não foi estabelecido um recorte temporal e o campo de busca usado foi o dos resumos.

A busca por pedidos de patente internacionais foi realizada na base de dados de patentes da OMPI, através de sua página na internet. Novamente, não foi estabelecido um recorte temporal e a busca foi determinada em qualquer campo por documentos com os termos "cachaça" ou "aguardente".

Também foi realizada uma busca por registros de

marcas nacionais contendo o termo "cachaça" sob qualquer classificação; na Classificação Internacional de Nice, Classe NCL 33, para "aguardente de cana", que já inclui a classificação nacional 35:10, de "bebidas, xaropes e sucos concentrados", e também na Classe NCL 33 para processos de marcas que contenham o termo "Cachaça" e ainda estejam ativos. Também foram consultados o registro de estabelecimentos produtores de cachaça e o registro de marcas de produtos (cachaça) junto ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

Finalmente, consultou-se a base de dados do Censo Agropecuário do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), com o objetivo de obter informações sobre os produtores de aguardente no Brasil. O último Censo realizado e disponibilizado publicamente pelo Instituto ocorreu em 2017. A partir dele, foram extraídos dados quantitativos sobre o número de produtores vinculados à aguardente, nas categorizações "familiar" ou "não familiar", identificados pelo seu grau de interação com o mercado, nas classificações "muito integrado", "integrado", "pouco integrado" ou "não integrado", e como eles estavam distribuídos entre os Estados brasileiros naquele ano.

4. RESULTADOS

A busca nas bases de dados públicas do INPI em relação ao tema "cachaça" revelou a existência de três registros de IG, três registros de Desenhos Industriais, 111 pedidos de Patente nacionais e 38 pedidos de Patente internacionais, além de 1.667 registros de Marca. Por outro lado, a busca realizada junto ao MAPA indicou a existência de 4.743 marcas de cachaça cadastradas. Já o Censo Agropecuário do IBGE de 2017 apontou a existência de 11.028 produtores de aguardente no país.

4.1. Indicações Geográficas

O Governo Federal publicou um decreto em 2001 que reconhece a cachaça como uma Indicação Geográfica Brasileira (Decreto nº. 4.062, de 21 de dezembro de 2001). Na base de dados pública do INPI (INPI, 2021a) foram identificados títulos específicos de Indicações de Procedência para diferentes tipos de aguardentes, incluindo a "Aguardente, tipo cachaça e aguardente composta azulada" de Paraty/RJ, a "Aguardente de cana tipo cachaça" da região de Salinas/MG, e a "Aguardente de cana do tipo cachaça" da Microrregião de Abaíra/BA. Dois pedidos de registro de Indicação de Procedência para a cachaça de

Morretes, no Paraná, foram identificados. O primeiro pedido, realizado em 2015 pela Agência de Desenvolvimento do Turismo Sustentável do Litoral do Paraná, foi arquivado. O segundo pedido, feito em 2020 pela Associação dos Produtores de Cachaça de Morretes, está atualmente ativo, aguardando cumprimento de exigência. Não foram encontrados registros ou pedidos de registro da cachaça como Denominação de Origem.

No âmbito internacional, a Colômbia foi o primeiro país a reconhecer a cachaça como um produto distinto do Brasil, em 2012. Em 2013, os Estados Unidos da América também reconheceram a cachaça como produto brasileiro. O México, em 2016, reconheceu a cachaça como um destilado exclusivo do Brasil. Em 2018, o Chile reconheceu a cachaça como produto distinto do Brasil, acompanhado pelo reconhecimento brasileiro do Pisco como sendo um produto distinto do Chile (IBRAC, 2023).

4.2. Desenhos Industriais

A pesquisa realizada na base de dados pública do INPI resultou em somente três registros de Desenhos Industriais contendo um dos termos "cachaça" ou "aguardente". O primeiro registro é referente a uma "Cartela Promocional de embalagem de garrafa de cachaça de 750ml a 965ml com termômetro de temperatura ambiente para propaganda da marca anunciada na cartela" (DI 6403025-3), datado de 2004. O segundo registro é referente a uma "Configuração estética introduzida em barrica para cachaça com bomba de pressão" (DI 6401955-1), também datado de 2004. O terceiro e último registro é referente a uma "Embalagem para aguardente" (MI5100853-0), datado de 1991.

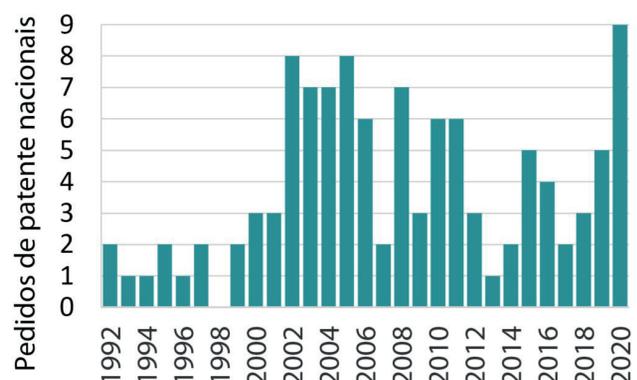


Figura 02: Depósitos de pedidos de patente brasileiros envolvendo os termos "cachaça" ou "aguardente", por ano.
Fonte: INPI (2022).

4.3. Patentes

Foi constatado um total de 111 pedidos de patente brasileiros contendo os termos “cachaça” ou “aguardente”, sendo que apenas 66 desses pedidos utilizaram o termo “cachaça”. É importante ressaltar que, devido às estratégias adotadas pelos depositantes, os resumos dos pedidos de patente nem sempre empregam os termos mais precisos, o que pode ter influência nos resultados encontrados. Portanto, todos os 111 pedidos foram considerados nas análises que se seguem (Figura 02).

Entre esses pedidos, 93 correspondem a invenções e 18 a modelos de utilidade, tendo sido depositados entre os anos de 1992 e 2020, seguindo um fluxo inconstante, mas que se apresenta de maneira crescente a partir de 2017 (Figura 02). Observa-se que apenas um dos requerimentos foi formulado por um inventor português, enquanto que os outros 110 foram formulados por inventores brasileiros. Quanto à distribuição geográfica dos pedidos, constata-se uma concentração maior no Sudeste, com 44 pedidos originados em São Paulo, 23 em Minas Gerais, sete no Rio de Janeiro e quatro no Espírito Santo. A região Sul apresenta nove pedidos do Paraná, cinco de Santa Catarina e cinco do Rio Grande do Sul. Por sua vez, o Nordeste registra quatro pedidos da Bahia, quatro da Paraíba, um do Maranhão e um de Pernambuco. Além disso, foram identificados dois pedidos formulados por inventores do Distrito Federal.

Os pedidos de patente são submetidos a uma classificação baseada em sua matéria reivindicada, de acordo com as práticas dos escritórios de patente. Essa classificação segue padrões internacionais, sendo comumente utilizadas a Classificação Internacional de Patentes (CIP ou IPC, do inglês International Patent Classification) e a Classificação Cooperativa de Patentes (CCP ou CPC, do inglês Cooperative Patent Classification). Tais sistemas permitem a atribuição de múltiplas classificações para um mesmo pedido, a depender da complexidade da matéria abrangida. Portanto, o número total de classificações identificadas no presente levantamento supera o número de pedidos de patente encontrados.

Essas classificações distribuíram-se entre 106 ocorrências na área da química (C01, C02, C05, C07, C12, C13); 27 na área de alimentos (A23); 16 na área das embalagens (B65D); 15 entre os processos físicos ou químicos ou aparelhos para tal (B01); nove entre os instrumentos de medição e testes (G01); três na área da agricultura (A01); três suportes para garrafas (A47); três no campo das ciências médicas ou veterinárias (A61); três envolvendo

condensadores (F25); dois no campo do trabalho de substâncias em estado plástico (B29); dois de distribuição, entrega ou transferência de líquidos (B67D); dois processos industriais relacionados a condensadores (F28B); uma massa para assar (A21D); um na área das artes decorativas (B44); um método de embalagem de artigos ou materiais (B65B); um no campo do tratamento de material vegetal (D01C) e um na área de isolamento ou proteção para edificações (E04B).

Os principais depositantes de pedidos de patente foram a Universidade Estadual Paulista (UNESP), com sete pedidos, seguida do Sr. Reinaldo Brandi, também de São Paulo, com cinco pedidos, e a Sra. Amazile Biagioni Ribeiro de Abreu, de Minas Gerais, a empresa Plastamp Indústria e Comércio de Plásticos Ltda., de São Paulo, e a Universidade Federal do Paraná (UFPR), com três pedidos cada.

A busca por pedidos de patentes internacionais contendo os termos “cachaça” ou “aguardente” apontou um total de 38 pedidos depositados entre 1999 e 2022 (Figura 03). As maiores depositantes foram as empresas Starbucks Co. e Syngenta Participation Ag., cada uma com sete pedidos depositados. A maioria dos inventores estrangeiros é dos Estados Unidos, com 18 pedidos, seguida pelos brasileiros, que somam 10 pedidos internacionais, israelenses com cinco pedidos, britânicos com quatro pedidos e um inventor sueco.

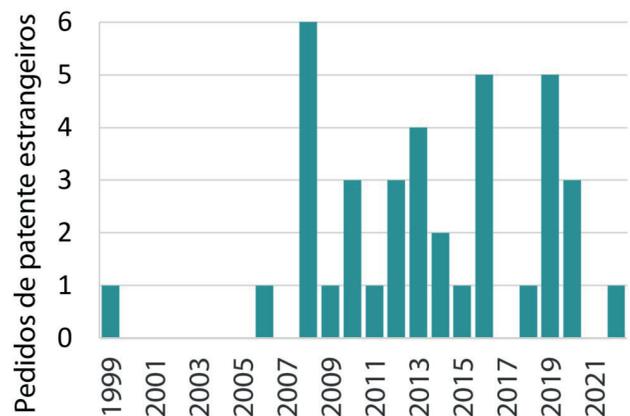


Figura 03: Depósitos de pedidos de patente internacionais envolvendo os termos “cachaça” ou “aguardente”, por ano.
Fonte: OMPI (2022).

Entre os pedidos internacionais de registro também foram encontradas diversas classificações, sendo que 13 deles estão relacionados à química (C07; C11; C12), 11 estão associados aos alimentos (A23), sete pertencem à categoria da agricultura (A01), cinco estão relacionados às áreas de medições, testes, computação e cálculo (G01);

G06) e dois deles estão relacionados aos processos físicos e químicos de separação (B01D).

4.4. Marcas

Ao realizar a busca por marcas contendo o termo "cachaça" sob qualquer classificação, foram identificados 2.264 processos. Por outro lado, a busca específica por marcas que fazem referência à "cachaça" na Classificação Internacional de Nice (Classe NCL 33 - Aguardente de cana) resultou em 1.667 processos.

Vale destacar que, durante a busca utilizando o buscador de marcas do INPI, a Classe Nacional 35:10 - "bebidas, xaropes e sucos concentrados" foi incluída ao se buscar na Classe Internacional NCL 33. Dentre os 411 processos "vivos" encontrados (conforme termo indicado no buscador), apenas 116 deles se referem efetivamente a produtos.

Adicionalmente, foi consultado o registro de marcas de cachaça junto ao MAPA, uma vez que este órgão é responsável pelo registro de produtos e produtores em atividade no país. De acordo com os dados daquele Ministério, em 2020 havia um total de 955 estabelecimentos produtores de cachaça registrados e mais 176 produtores que se identificaram como produtores de aguardente, chegando-se ao total de 1.131 produtores. A região Sudeste apresentando o maior número de produtores de cachaça (377), seguida pela região Nordeste (92), Sul (86), Centro-Oeste (25) e Norte (6).

Enfatiza-se que o MAPA estabeleceu distinção entre os produtores de cachaça e os produtores de aguardente de cana, mas não distinguiu o registro de produtores de cachaça artesanal dos produtores de cachaça industrial.

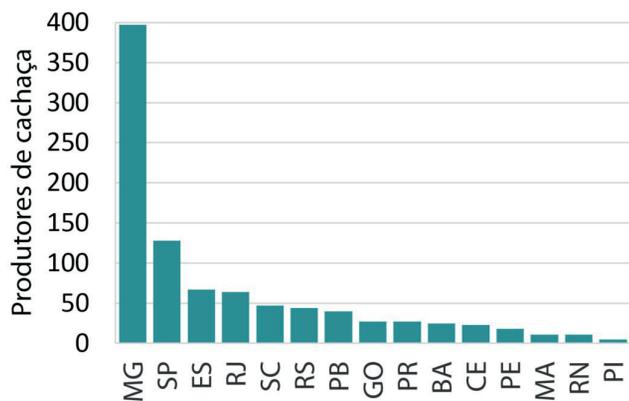


Figura 04: Os 15 Estados brasileiros com maior número de registros de marcas para estabelecimentos produtores de cachaça no país, segundo o MAPA.
Fonte: Adaptado de MAPA (2021a, p. 13).

No ano de 2020, o MAPA continha o registro de 4.743 marcas de produtos de cachaça. É importante ressaltar

que esse número de marcas de produtos é superior ao número de estabelecimentos registrados, pois cada estabelecimento pode possuir mais de uma marca de produto. Adicionalmente, foi identificado que um mesmo estabelecimento pode deter até 67 registros de marcas de produtos distintas.

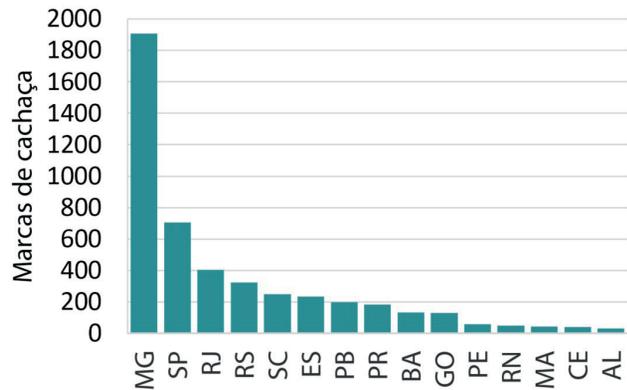


Figura 05: Os 15 Estados brasileiros com maior número de registros de marcas de cachaça no país, segundo o MAPA.
Fonte: Adaptado de MAPA (2021a, p. 19).

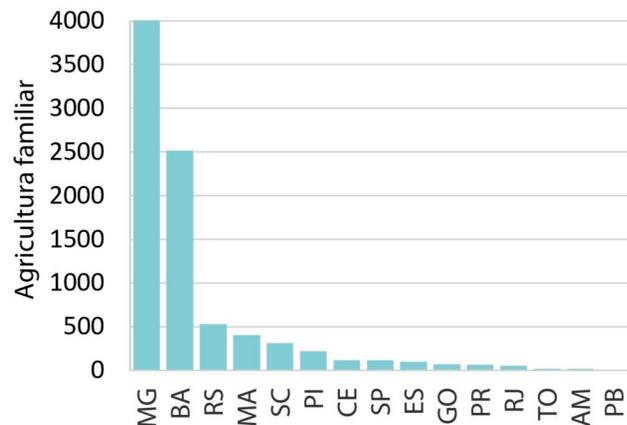


Figura 06: Os 15 Estados brasileiros com maior número de estabelecimentos produtores de aguardente de cana, que envolvem agricultura familiar.
Fonte: IBGE (2023).

De acordo com os dados coletados, a presença de marcas registradas de cachaça é mais expressiva na região Sudeste, totalizando 3.251 registros de marcas para 2.362 produtos distintos. Cabe ressaltar que o registro de uma marca representa um ativo distinto do registro do produto, podendo existir mais de uma marca vinculada a um mesmo produto. Em sequência, a região Sul apresenta 755 marcas registradas para 543 produtos, seguida da região Nordeste com 560 marcas registradas para 479 produtos, da região Centro-Oeste com 161 marcas registradas para 133 produtos e, por fim, da região Norte com 16 marcas registradas para 16 produtos.

4.5. Produtores de aguardente no Brasil

Em consulta ao Censo Agropecuário realizado pelo IBGE, verificou-se que o Brasil contava com 11.028 produtores de aguardente em 2017 (IBGE, 2023). Nesse caso, a cachaça foi incluída entre as aguardentes. Desse total de produtores, 8.664 se vinculam à agricultura familiar (Figura 06), enquanto 2.364 não apresentaram essa vinculação (Figura 07).

Ainda de acordo com o Censo realizado pelo IBGE, a Região Sudeste possuía 54,0% dos produtores de aguardente do país, seguida pela Região Nordeste, com 35,1% do total. A Região Sul ficou em terceiro lugar, com 9,4% dos produtores nacionais, seguida pela Região Centro-Oeste, com apenas 0,9% deles, e pela Região Norte, com somente 0,5% do total.

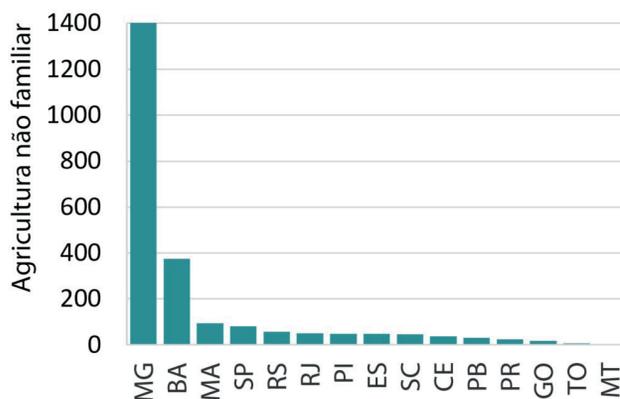


Figura 07: Os 15 Estados brasileiros com maior número de estabelecimentos produtores de aguardente de cana, que não envolvem agricultura familiar.

Fonte: IBGE (2023).

Em todas as regiões do país a maioria dos produtores de aguardente era vinculada à agricultura familiar. Na Região Sul (Figura 06), eles representam 87,6% dos produtores, enquanto na Região Nordeste representam 84,4% dos produtores. Por outro lado, a Região Sudeste apresentou o maior percentual de produtores não relacionados à Agricultura familiar (Figura 07), com 26,8%, seguido da Região Centro-Oeste, onde 24,8% dos produtores não apresentaram origem na agricultura familiar.

Destacaram-se os Estados de Minas Gerais e da Bahia como maiores produtores de Aguardente no país. Na Bahia, 87,0% dos produtores se relacionam à Agricultura familiar e em Minas Gerais essa taxa é de 74,3%.

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS

O sistema de produção e comercialização da cachaça é intrinsecamente conectado ao contexto mais amplo da

produção da cana-de-açúcar, uma vez que compartilha os mesmos territórios e parte dos meios de produção e tecnologias. Embora a indústria da cana-de-açúcar esteja presente em outras regiões do mundo, apresentando horizontes tecnológicos mais amplos, a indústria da cachaça é restrita ao território nacional.

Considerando a vasta extensão territorial do Brasil, é possível identificar diferentes terroirs (ou solos) nos quais a produção da cachaça é realizada. Esses terrenos apresentam características distintas que podem conferir propriedades únicas aos seus produtos, potencialmente resultando em uma ampla variedade de aromas e sabores. A utilização adequada do registro de IG pode destacar essa diversidade, como já ocorre com alguns vinhos, cervejas e destilados, a exemplo do uísque (FIGUEIREDO, 2012; JANNUZZI, 2021a). No entanto, apesar desse potencial, as evidências sugerem que a cadeia de valor da cachaça tem subutilizado os ativos de IG, já que apenas três registros foram realizados no país.

Os registros de DI direcionados à indústria da cachaça também se mostraram bastante escassos. Esse resultado sugere que há possibilidades ainda não exploradas para proteger elementos associados ao produto final, tais como artigos promocionais e embalagens. A exploração oportuna desse ativo, que se concentra em aspectos ornamentais, pode contribuir significativamente para diferenciar o produto no mercado e, conseqüentemente, aumentar sua atratividade para o público consumidor. Além disso, a utilização dos direitos de exclusividade associados ao registro de DI pode agregar valor econômico ao produto final (TEIXEIRA JÚNIOR et al., 2012).

No que tange às patentes, o presente estudo constatou que, apesar de limitações da estratégia de busca utilizada, os ativos relacionados à cachaça são incipientes e apresentam um potencial pouco explorado por inventores e empresas nacionais. Essa constatação é corroborada pelos dados relativos aos pedidos de patente internacional, os quais revelam que as empresas estrangeiras têm se destacado no processo de proteção de PI nessa área. De acordo com os resultados encontrados, 47% dos pedidos de patente relacionados a essa indústria e depositados no Brasil são provenientes dos Estados Unidos da América, enquanto outros 27% são originários de Israel, Reino Unido e Suécia. Apenas 26% desses depósitos são de residentes brasileiros.

Diante dessa situação, verificou-se que o INPI implantou programas de incentivo ao aumento do número de solicitações de depositantes nacionais por ativos de PI no Brasil. Entre esses programas destaca-se o "INPI Negócios",

que inclui ações de mentoria junto a potenciais depositantes, a instalação de uma “vitrine de PI 2.0” para melhorar a exposição e exploração dos ativos já concedidos, além de parcerias e cooperações técnicas para disseminação da matéria junto ao setor produtivo nacional e ao ambiente de negócios das inovações (INPI, 2022a, p. 71).

No que se refere especificamente às patentes, é importante mencionar a política de estímulo à proteção de tecnologias verdes em vigor desde 2012, que visa apoiar ações voltadas à agenda da sustentabilidade. Tecnologias que envolvem energias alternativas, voltadas aos transportes, à conservação de energia, ao gerenciamento de resíduos e também à agricultura podem ser enquadradas nesse programa. As “Patentes Verdes” estão sujeitas à aceleração no exame, o que permite que tais pedidos de patente passem à frente dos demais e sejam avaliados de maneira expedita, em menor tempo (SANTOS; OLIVEIRA, 2014; INPI, 2022b). Ambas as iniciativas citadas são aplicáveis à cadeia de valor da cachaça.

Portanto, foram verificadas ações de fomento em curso, por parte de entes públicos e privados, voltadas a uma maior e melhor exploração comercial desse produto. Diante disso, mostra-se fundamental que as partes interessadas nessa indústria se alinhem em favor do desenvolvimento do setor. Nesse contexto, inclui-se a aplicação acertada dos ativos de PI em benefício da majoração do seu mercado e da ampliação da sua rentabilidade.

No que diz respeito ao dimensionamento da indústria da cachaça no Brasil, é possível observar uma discrepância significativa entre os dados coletados pelo IBGE em 2017, que identificou 11.028 produtores de aguardente, entre os quais incluem-se os produtores de cachaça, e os dados registrados junto ao MAPA em 2020, que identificou 1.131 produtores de cachaça e/ou aguardente.

Ainda que sejam considerados apenas os produtores de aguardente não relacionados à agricultura familiar, segundo o Censo do IBGE, o país contava com 2.364 produtores de aguardente em 2017. Embora haja um intervalo de três anos entre as informações coletadas, a comparação entre os dados do MAPA e do IBGE sugerem uma alta incidência de informalidade nessa cadeia produtiva

Outra discrepância relevante identificada nesse estudo se refere aos dados de marcas de produtos de cachaça registrados junto ao MAPA e ao INPI. Em 2020, a MAPA totalizava 4.743 marcas de cachaça registradas, enquanto o INPI apenas 116 marcas de cachaça protegidas como ativos de PI. Mesmo que tenha havida subidentificação neste estudo, visto que foram consideradas apenas marcas mencionando explicitamente o termo “cachaça”, a

diferença entre os dados dos dois órgãos sugere um potencial quase inexplorado desse ativo naquela indústria.

Conforme exposto, a subutilização dos DPI foi constatada na cadeia produtiva e no mercado da cachaça, tanto no âmbito nacional quanto internacional.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo quantificar o uso dos ativos de PI aplicados à cadeia produtiva da cachaça, identificando as possibilidades de incrementar o uso desses ativos para apoiar o desenvolvimento econômico do seu mercado. Os resultados apontaram para a subutilização dos ativos de Propriedade Intelectual no setor.

Foi sugerida a ampliação do uso das IG, devido à diversidade e particularidade das regiões produtoras no país. Também foi indicada a aplicação do uso das marcas, pois se trata do ativo que potencializa a relação de identificação do produto com seu público consumidor. Por fim, também foi apontada a potencialidade de uso dos registros de Desenhos Industriais e as Patentes voltados aos produtos e processos desenvolvidos nessa indústria.

Destaca-se que a ampliação do uso dos ativos de PI nessa indústria requer a sensibilização e capacitação do contexto empresarial que a envolve. Para isso, é relevante que as empresas percebam que podem auferir benefícios a partir desses ativos para compensar os seus custos de transação.

Portanto, os resultados apontados nesse estudo indicaram algumas das lacunas na aplicação dos ativos de PI na indústria da cachaça e suas potencialidades. A partir delas torna-se possível aprimorar o direcionamento dos esforços que vêm sendo realizados pelas instâncias públicas e privadas de fomento.

REFERÊNCIAS

- AL-AALI, A. Y.; TEECE, D. J. Towards the (Strategic) Management of Intellectual Property: retrospective and prospective. **California Management Review**, Oakland, v. 55, n. 4, p. 15-30, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1525/cmr.2013.55.4.15>. Acesso em: 31 mar. 2023.
- BARBIERI, J. C.; VASCONCELOS, I. F. G de; ANDREASSI, T.; VASCONCELOS, F. C. de. Inovação e Sustentabilidade: novos modelos e proposições. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 50, n. 2, p. 146-154, abr./jun. 2010. Disponível em: <https://www.>

scielo.br/j/rae/a/yfSj69NTb8jchSYr3R9bztJ/?format=pdf&lang=pt. Acesso em: 31 mar. 2023.

BELLETTI, G.; BURGASSI, T.; MANCO, E.; MARESCOTTI, A.; PACCIANI, A.; SCARAMUZZI, S. The roles of geographical indications (PDO and PGI) on the internationalisation process of agro-food products. In: EAAE SEMINAR "INTERNATIONAL MARKETING AND TRADE OF QUALITY FOOD PRODUCTS", 105, mar. 2007, Bologna. **Anais [...]**. Disponível em: <https://ageconse-arch.umn.edu/record/7851/>. Acesso em: 03 fev. 2023.

BORTOLETTO, A. M.; ALCARDE, A. R. Congeners in sugar cane spirits aged in casks of different woods. **Food Chemistry**, v. 139, p. 695-701, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.12.053>. Acesso em: 03 fev. 2023.

BORTOLETTO, A. M.; ALCARDE, A. R. Assessment of chemical quality of brazilian sugar cane spirits and cachaças. **Food Control**, v. 54, p. 1-6, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.01.030>. Acesso em: 03 fev. 2023.

BORTOLETTO, A. **Premiunização de Bebidas Brasileiras**. INOVBEV, 21 ago. 2021. Disponível em: <https://www.inovbev.com/post/premiuniza%C3%A7%C3%A3o-de-bebidas-brasileiras-1>. Acesso em: 03 fev. 2023.

BRASIL. **Lei nº. 9.279**, de 14 de maio de 1996. Regula direitos e obrigações relativos à Propriedade Industrial. Brasília, DF: Presidência da República, [1996]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9279.htm. Acesso em: 03 fev. 2023.

BRASIL. Lei nº. 9.456, de 25 de abril de 1997. **Institui a Lei de Proteção de Cultivares e dá outras providências**. Brasília, DF: Presidência da República, [1997]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9456.htm. Acesso em: 03 fev. 2023.

BRASIL. Lei nº. 9.609, 19 de fevereiro de 1998. **Dispõe sobre a proteção da propriedade intelectual de programa de computador, sua comercialização no País, e dá outras providências**. Brasília, DF: Presidência da República, [1998]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9609.htm. Acesso em: 03 fev. 2023.

BRASIL. Lei nº. 9.610, 19 de fevereiro de 1998. **Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências**. Brasília, DF: Presidência da República, [1998]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9610.htm. Acesso em: 03 fev. 2023.

BRASIL. Decreto nº. 4.062, de 21 de dezembro de 2001. **Define as expressões "cachaça", "Brasil" e "cachaça do Brasil" como indicações geográficas e dá outras providências**. Brasília, DF: Presidência da República, [2001]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2001/d4062.htm. Acesso em: 03 fev. 2023.

BRASIL. **Decreto nº. 6.871**, de 04 de junho de 2009. Regulamenta a Lei nº. 8.918, de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. Brasília, DF: Presidência da República, [2009]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/decreto/d6871.htm. Acesso em: 03 fev. 2023

BUAINAIN, A. M.; SOUZA, R. F.; VIEIRA, A. C. P.; BUENO, C. da S.; FERRARI, V.; SABINO, W. **Propriedade Intelectual e desenvolvimento no Brasil**. Rio de Janeiro: Ideia D, ABPI, 2019. Disponível em: http://inctped.ie.ufrj.br/pdf/livro/PI_e_Inovacao_no_Brasil.pdf. Acesso em: 03 fev. 2023.

CHADDAD, F. A Economia e a Organização da Agricultura Brasileira: Evolução Recente e Ganhos de Produtividade. **Elsevier**, Amsterdã, 2016.

CHAMAS, C. I. Gerenciamento da proteção e exploração econômica da propriedade intelectual. **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, v. 37, n. 5, p. 1055-1081, set/out 2003. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rap/article/view/6513>. Acesso em: 03 fev. 2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira**. Embrapa, Brasília, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/10180/9543845/Vis%C3%A3o+2030+-+o+futuro+da+agricultura+brasileira/2a9a0f27-0ead-991a-8cbf-af8e89d62829>. Acesso em 31 mar. 2023.

FABRIS, J.; MACHADO, G. J. C.; GOMES, I. M. A. Evolução da proteção dos produtos tradicionais. **GEINTEC**, v. 2, n. 4, p. 387-395, 2012.

FERNANDES, L. R. M. V., FRAGA, S. A. P. M., COSTA, V. B. Os saberes tradicionais e locais e as indicações Geográficas: o caso das plantas medicinais do Brasil. In: SANTOS, M. G.; QUINTERO, M. Saberes tradicionais e locais: reflexões etnobiológicas. Rio de Janeiro: **EDUERJ**, 2018, p. 126-147. Disponível em: <https://doi.org/10.7476/9788575114858.0008>. Acesso em: 31 mar. 2023.

FIGUEIREDO, R. Algumas ideias para um Terroir na Cachaça. **Mapa da Cachaça**, 2012. Disponível em: <https://www.mapadacachaca.com.br/artigos/o-terroir-na-cachaca/>. Acesso em: 03 fev. 2023.

GUIMARÃES, R. Propriedade Intelectual no Brasil: uma política em apuros. **Revista Facto**, ed. 44, abr./jun. 2015. Disponível em: http://www.abifina.org.br/revista_facto_materia.php?id=566. Acesso em: 03 fev. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DA CACHAÇA (IBRAC). **Cachaça**. [S. l.]: IBRAC, 2023. Disponível em: <http://www.ibrac.net/>. Acesso em: 03 fev. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Pesquisa Industrial Anual – Produto. **Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA)**, 2023. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br>. Acesso em 10 abr. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL (INPI). **Planilha de acompanhamento dos Pedidos / Registros de Indicações Geográficas**. Rio de Janeiro: INPI, 2015. Disponível em: <https://www.gov.br/inpi/pt-br/assuntos/indicacoes-geograficas/arquivos/planilha-de-ig-12-05-2015.pdf>. Acesso em: 03 fev. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL (INPI). **Indicações Geográficas: Indicações de Procedência reconhecidas**. Rio de Janeiro: INPI, 2021a. Disponível em: <https://www.gov.br/inpi/pt-br/servicos/indicacoes-geograficas/arquivos/status-pedidos/STACOMASINDICAESDEPROCEDNCIARECONHECIDAS.At04Abr2023.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL (INPI). **Indicadores de Propriedade Industrial 2020**. Rio de Janeiro: INPI, 2021b. Disponível em: https://www.gov.br/inpi/pt-br/aceso-a-informacao/boletim-mensal/arquivos/documentos/indicadores-2020_ae-con_vf-27-01-2021.pdf. Acesso em: 03 fev. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL (INPI). **Relatório de Gestão do INPI - 2021**. Rio de Janeiro: INPI, 2022a. Disponível em: <https://www.gov.br/inpi/pt-br/governanca/transparencia-e-prestacao-de-contas/relatorios-de-gestao/arquivos/documentos/relatoriodegestao2021.pdf>. Acesso em: 03 fev. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL (INPI). **Patentes Verdes**. Rio de Janeiro: INPI, 2022b. Disponível em: https://www.gov.br/inpi/pt-br/servicos/patentes/tramite-prioritario/projetos-piloto/Patentes_verdes. Acesso em: 03 fev. 2023.

JANNUZZI, F. **O território ou terroir da cachaça**. [S. l.]: Mapa da Cachaça, 2 mar. 2021a. Disponível em: <https://www.mapadacachaca.com.br/artigos/o-territorio-terroir-da-cachaca/>. Acesso em: 03 fev. 2023.

JANNUZZI, F. **Diferenças entre Cachaça Artesanal X Cachaça Industrial**. [S. l.]: Mapa da Cachaça, 5 mar. 2021b. Disponível em: <https://www.mapadacachaca.com.br/artigos/diferencas-entre-cachaca-artesanal-e-cachaca-industrial/>. Acesso em: 03 fev. 2023.

LASTRES, H. M. M.; CASSIOLATO, J. E.; MATOS, M. P.; SZAPIRO, M. **Inovação, território e desenvolvimento: implicações analíticas e normativas do conceito de arranjos e sistemas produtivos e inovativos locais**. Rio de Janeiro: RedeSist, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/337362986_Inovacao_territorio_e_desenvolvimento_implicacoes_analiticas_e_normativas_do_conceito_de_arranjos_e_sistemas_produtivos_e_inovativos_locais. Acesso em: 03 fev. 2023.

LUNA, F.; BAESSA, A.; ALVES, P. F. Impacto das marcas e patentes no desempenho econômico das firmas. In: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, 35, 2007, Recife. **[Anais]**. Niterói: ANPEC, 2007. Disponível em:

<https://www.anpec.org.br/encontro2007/artigos/A07A155.pdf>. Acesso em: 03 fev. 2023.

MADDOX, J. A CEO's guide to IP: how to use intellectual property to drive business strategy. **White papers CPA**, Channel Islands, nov. 2007.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). Instrução Normativa nº. 13, de 29 de junho de 2005. Aprova o regulamento técnico para fixação dos padrões de identidade e qualidade para aguardente de cana e para cachaça. Brasília: **DOU**, nº. 124, s. 1, p. 3, 30 jun. 2005.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **A cachaça no Brasil: dados de registro de Cachaças e Aguardentes ano 2021**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA, AECS, 2021a. Disponível em: <http://www.ibrac.net/servicos/cartilhas>. Acesso em: 03 fev. 2023.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Diretrizes estratégicas da cadeia produtiva da cachaça**. Brasília: MAPA, T&S Academy, 2021b. Disponível em: <https://ibrac.net/servicos/cartilhas>. Acesso em: 03 fev. 2023.

PHILLIPS, P. W. B.; KARWANDY, J.; WEBB, G.; RYAN, C. D. **Innovation in agri-food clusters: theory and case studies**. CABI, Wallingford, Reino Unido, 2013.

PUHLMANN, A. C. A.; MOREIRA, C. F. **Noções gerais sobre proteção de tecnologias e produtos: versão inventor**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 2004. Disponível em: <https://consulteengenheiroeletronico.files.wordpress.com/2012/06/noco-es-gerais-sobre-protecao-de-tecnologia-e-produtos.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2023.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA PROPRIEDADE INTELECTUAL (OMPI). **World Intellectual Property Indicators 2022**. Genebra: OMPI, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.34667/tind.47082>. Acesso em: 03 fev. 2022.

PEIXOTO, M.; BUAINAIN, A. M. **Desempenho e Desafios do Sistema de Propriedade Industrial no Brasil**. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado Federal, 2021. Disponível em: <https://>

www12.senado.leg.br/publicacoes/estudos-legislativos/tipos-de-estudos/textos-para-discussao/td294. Acesso em: 03 fev. 2023.

PORTUGAL, C. B., de, SILVA, A. P., BORTOLETTO, A. M.; ALCARDE, A. R. Como as leveduras nativas podem influenciar o perfil químico da cachaça brasileira? **Alimentos Res. Int.**, nº. 91, p. 18-25, 2017.

PROVENZI, J. Reconhecimento de indicações geográficas beneficia o desenvolvimento local. Porto Alegre: **Jornal da Universidade**, UFRGS, 11 mar. 2021. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/jornal/reconhecimento-de-indicacoes-geograficas-beneficia-o-desenvolvimento-local/>. Acesso em: 03 fev. 2023.

RECHE, R. V.; FRANCO, D. W. Distinção entre cachaças destiladas em alambiques e em colunas usando quimiometria. **Revista Química Nova**, vol. 32, nº. 2, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/KJr67zYcV7jWfFLSwwNjfSb/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 03 fev. 2023.

ROMANI, L. A. S.; BAMBINI, M. D.; BARIANI, J. M.; DRUCKER, D.P. et al. Ecosistema de inovação em agricultura: evolução e contribuições da Embrapa. In: **Agricultura Digital: Pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas**. Brasília: Embrapa, 2020, p. 278-305. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1126213/agricultura-digital-pesquisa-desenvolvimento-e-inovacao-nas-cadeias-produtivas>. Acesso em: 24 abr. 2023

SANTOS, N. dos; OLIVEIRA, D. G. de. A patenteabilidade de tecnologias verdes como instrumento de desenvolvimento sustentável. **Revista Jurídica**, v. 4, nº. 37, p. 294-310, 2014. Disponível em: <http://publicadireito.com.br/artigos/?cod=aa8f9467196c7f30>. Acessado em 03 fev. 2023.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS (SEBRAE). **Indicações Geográficas Brasileiras: cachaça**. Hulda Oliveira Giesbrecht, Raquel Beatriz Almeida de Minas (Coordenadoras). Brasília: SEBRAE, INPI, 2016. Disponível em: https://www.gov.br/inpi/pt-br/backup/arquivos/catalogo_IG_cachaca_web.pdf. Acesso em: 03 fev. 2023.

TEIXEIRA JÚNIOR, J. R.; MONTANO, P. F.; FALEIROS, J. P. M.; BASTOS, H. B. Desing estratégico: inovação, diferenciação, agregação de valor e competitividade. **BNDES Setorial**, n°. 35, mar. 2012, p. 333-368. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/1496>. Acesso em: 19 mar. 2023.

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

Declaração de conflito: nada foi declarado.

AUTORES

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6233-6971>

LEONARDO FALANGOLA MARTINS, Doutorando | Academia de Propriedade Intelectual, Inovação e Desenvolvimento do Instituto Nacional da Propriedade Industrial - ACAD/INPI | Doutorado Profissional em Propriedade Intelectual e Inovação | Correspondência para: Rua Mayrink Veiga, 09, 17° andar, Centro, Rio de Janeiro/RJ - Brasil, 20090-910 | e-mail: leofalangola@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1584-7250>

SANDRA BRITES, Doutoranda | Academia de Propriedade Intelectual, Inovação e Desenvolvimento do Instituto Nacional da Propriedade Industrial - ACAD/INPI | Doutorado Profissional em Propriedade Intelectual e Inovação | Correspondência para: Rua Mayrink Veiga, 09, 17° andar, Centro, Rio de Janeiro/RJ - Brasil, 20090-910 | e-mail: smgbrites@gmail.com

COMO CITAR ESTE ARTIGO

MARTINS, Leonardo Falangola; BRITES, Sandra. O Uso de Ativos de Propriedade Industrial na Cadeia de Valor da Cachaça. *MIX Sustentável*, v. 9, n. 3, p. 101-115, 2023. ISSN 2447-3073. Disponível em: <http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>. Acesso em: [_/_/_](https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n3.101-115). doi: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n3.101-115>.

SUBMETIDO EM: 06/02/2023

ACEITO EM: 25/04/2023

PUBLICADO EM: 30/07/2023

EDITORES RESPONSÁVEIS: Joel Dias da Silva e Paulo Machado Ferroli.

Registro da contribuição de autoria:

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

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

ASPECTOS AMBIENTAIS DO INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DA TAIPA DE PILÃO

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF RAMMED EARTH'S LIFE CYCLE INVENTORY

ASPECTOS AMBIENTALES DEL INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA DE LA TAPIA

ANA PAULA DA SILVA MILANI, DRA. | UFMS - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.

ISABELA MARIA CARVALHO IUNES, MA. | UFMS - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.

RESUMO

O sistema construtivo taipa de pilão tem relevância pela sua baixa energia incorporada e emissão de CO₂ durante a extração da matéria-prima até sua execução. Assim, foi feito um estudo dos aspectos ambientais da taipa nas fronteiras “berço a berço”. Selecionou-se quatro tipos de taipa, diferenciando na adição do estabilizante cimento e no tipo de compactação, a fim de verificar se essas variáveis técnicas causam mudanças consideráveis nos aspectos ambientais nas etapas de extração; fabricação; transporte; construção; manutenção; demolição e destinação final. Foi utilizado a análise de ciclo de vida (ACV) para quantificar os indicadores ambientais resultantes das entradas e saídas de cada etapa. Os resultados mostraram que o transporte é a etapa mais prejudicial, com maiores emissões de CO₂. Além disso, a adição do cimento aumenta emissões de poluentes e energia incorporada, tornando a taipa estabilizada a mais nociva ambientalmente em qualquer etapa do seu ciclo de vida. Por fim, foi comprovado que independente da composição da mistura da taipa, o processo de compactação não influencia de forma relevante nos indicadores ambientais, sendo viável o uso de compactadores mecanizados por conta da sua facilidade de manuseio, eficiência, e padronização da compactação das camadas da parede.

PALAVRAS-CHAVE

Berço a berço; energia incorporada; indicadores ambientais; construção com terra.

ABSTRACT

Rammed Earth constructions have become environmentally relevant due to their lower embodied energy and carbon from extraction to construction phases. This study aims to assess environmental aspects of rammed earth walls from “cradle-to-cradle”. Therefore, four cases of rammed earth walls were chosen, being different the use of cement as a stabilizer and the type of compaction; in order to verify if these technical variables cause considerable changes in the environmental aspects of the extraction; manufacturing; transport; construction; maintenance; demolition and final disposal. Life cycle assessment (LCA) was applied to this study to quantify the environmental indicators resulting from the inputs and outputs of each stage. The results indicated that the transport phase is the most harmful one, releasing more carbon dioxide than all the others do. Moreover, the addition of cement increases pollutant emissions and embodied energy; so stabilized rammed earth is the most environmentally harmful at any stage of its life cycle. Another thing concluded was that the compaction process has little relevance to environmental aspects. Therefore, it is acceptable to use dynamic equipment, as it is still more practical; easy to handle; it speeds the construction process and standardizes wall layer compaction.

KEYWORDS

Cradle to cradle; embodied energy; environmental indicators; earth constructions.



RESUMEN

El sistema constructivo de la tapia es relevante por su baja energía incorporada y emisiones de CO2 desde la extracción de la materia prima hasta su ejecución. Así, se realizó un estudio sobre los aspectos ambientales de la tapia en los límites “de la cuna a la cuna”. Se seleccionaron cuatro tipos de tapia, que se diferencian en la adición de cemento estabilizador y en el tipo de compactación, con el fin de verificar si estas variables técnicas provocan cambios considerables en los aspectos ambientales en las etapas extracción; fabricación; transporte; construcción; mantenimiento; demolición y disposición final. Se utilizó el análisis del ciclo de vida (ACV) para cuantificar los indicadores ambientales resultantes de las entradas y salidas de cada etapa. Los resultados mostraron que el transporte es el paso más dañino, con las mayores emisiones de CO2. Además, la adición de cemento aumenta las emisiones contaminantes y la energía incorporada, por eso la tapia estabilizada es la más dañina para el medio ambiente en cualquier etapa de su ciclo de vida. Finalmente, se comprobó que independientemente de la composición de la mezcla de la tapia, el proceso de compactación no influye significativamente en los indicadores ambientales, siendo factible el uso de compactadores mecanizados por su facilidad de manejo, eficiencia y estandarización de la compactación por capas de pared.

PALABRAS CLAVE

de la cuna a la cuna; energía incorporada; indicadores ambientales; construcción con tierra.



1. INTRODUÇÃO

Dentre as construções com relevância para a descarbonização do setor da construção civil destaca-se o sistema construtivo taipa de pilão, ou também intitulada taipa, a qual se caracteriza por utilizar solo compactado como matéria-prima para a execução das paredes de edificações. Sua valorização acontece por conta de sua baixa energia incorporada durante a fase de extração de matéria-prima até sua execução na obra durante o seu ciclo de vida (KARIYAWASAM; JAYASINGHE, 2016; REDDY; LEUZINGER; SREEMAN, 2014; CIANCIO; JAQUIN; WALKER, 2013).

Torgal e Jalali (2012) mostraram que, mesmo que o tipo de solo para a construção não possa ser considerado uma fonte renovável, o solo ainda sim é muito menos agressivo ao ambiente que a extração de matéria-prima para fabricação de produtos industrializados, sendo o transporte sua única forma de poluição. Os autores também verificaram que a emissão de carbono da taipa de pilão é 63% menor do que as paredes convencionais de alvenaria de cerâmica vermelha.

Arrigoni et al. (2017) estudaram várias misturas do solo com aditivos naturais para que o mesmo possa ter melhor desempenho mecânico e ainda promova um baixo impacto ambiental do ambiente construído. A justificativa para esse estudo foi de que nem sempre o solo do local da construção possui as características físicas necessárias para promover o mínimo do desempenho estrutural.

A partir dessa hipótese, Arrigoni et al. (2017) analisaram o ciclo de vida da taipa nas etapas de extração até execução, quantificando os indicadores energia não renovável no transporte do material e sua emissão de gases poluentes. Dentre os estudos de caso, os autores verificaram que a adição de estabilizadores na mistura do solo + água pode ser mais vantajoso ao meio ambiente do que o uso de um solo apropriado, mas que sua jazida se encontra a uma distância mínima possível da obra.

Nesta mesma linha, Fernandes et al. (2019) investigaram o benefício ambiental de dois tipos de construção com terra: os blocos de terra comprimida (BTC) e a taipa de pilão. Os autores demonstraram que os impactos ambientais de energia incorporada no processo e do potencial de aquecimento global foram de apenas 50% quando comparado aos valores dos materiais convencionais tijolo cerâmico e bloco de concreto. Ainda que as construções com terra fossem consideradas mais vantajosas, os referidos autores também verificaram quais eram as fases mais prejudiciais dentro desses processos construtivos, concluindo que a fase de transporte dos materiais até o local

da obra é a etapa mais impactante no ciclo de vida das construções com terra.

Contudo, existem questionamentos sobre o uso, manutenção, demolição e descarte ou reuso das vedações de taipa de pilão ao longo do seu ciclo de vida, pois há poucos estudos verificando se as fases de operação e destinação final do edifício de terra promovem o mesmo nível de impacto ambiental que as suas fases de extração, transporte e fabricação. Isto porque, essas etapas avançadas do ciclo de vida do material dependem não só da região estabelecida, como também das pessoas que operam as edificações (SOUDANI, et al., 2017).

Nesse sentido, Taylor, Fuller e Luther (2008) e Dong, Soebarto e Giffith (2014) verificaram que as edificações de taipa construídas na Austrália demandam maior quantidade de energia para aquecimento do ambiente em comparação com as edificações de sistemas convencionais no tocante de promover conforto térmico aos ocupantes em períodos que a temperatura externa do ambiente for muito baixa.

Já De Wolf et al. (2018) também analisaram o ciclo de vida de uma edificação de taipa localizada no oriente médio, sendo projetado a permanência do padrão de baixo impacto ambiental na etapa de operação do edifício com paredes de terra pelo uso de materiais recicláveis como isolante térmico. Essas conclusões sugerem o potencial de eficiência energética durante o uso da edificação em taipa de pilão quando construídas em regiões de clima quente, como por exemplo, no Brasil.

Ainda o estudo de Ben-Alon et al. (2021) analisaram as etapas de extração de matéria-prima, produção, transporte até o local, uso e manutenção do ciclo de vida de edificações construídas com os seguintes materiais de construção: COB (mistura de argila, areia, água e palha), fardos de palha; e a taipa de pilão com e sem isolamento térmico. Segundo os pesquisadores, comparando estes sistemas considerados naturais com processos construtivos convencionais em regiões dos Estados Unidos, estas técnicas alternativas resultaram menores impactos ambientais, principalmente nos climas áridos e semiáridos.

Sobretudo, Ben-Alon et al. (2021) destacam que ao comparar os valores dos impactos ambientais entre a taipa de pilão com isolante térmico e a alvenaria de bloco de concreto, os impactos causados pela taipa eram menores, sendo a redução de 78% da mudança climática (kg CO₂), 72% do consumo de energia (MJ), 90% da acidificação do ar (kg SO₂), e 98% das partículas de poluição prejudiciais à saúde humana (PM_{2.5}).

Em relação a demolição e a destinação final da taipa

de pilão, é muito comum o material que não sofre processo de combustão, ou sem mistura química - como no caso do solo - ser considerado reversível no final de seu ciclo de vida, pois volta para o ambiente a ser construído como fonte de origem. Entretanto, com as tecnologias e estratégias ambientais desenvolvidas nos últimos tempos, a ideia de reciclar o solo estabilizado quimicamente já no fim do ciclo de vida do edifício e reutilizar como agregado reciclado, também se torna viável e benéfica ao meio ambiente, fomentando a gestão ambiental por meio do conceito de economia circular.

Estas afirmações foram corroboradas por Di Maria, Eyckmans e Acker (2018); Buyle et al. (2019); Ghisellini, Ripa e Ulgiati (2018); sendo que a utilização de materiais pré-fabricados na etapa da construção e a demolição seletiva na etapa de fim da vida útil do edifício reduz a geração de resíduos e resulta na maior quantidade de material reciclado. Além disso, estes autores destacaram que o uso de paredes removíveis ou que apresentem reversibilidade pode incentivar a economia circular, sendo um facilitador para que os materiais de construção sejam recuperados e reutilizados.

Considerando estes estudos pontuais e a falta de trabalhos que integram as informações sobre os aspectos ambientais da taipa dentro do contexto do ciclo de vida nas fases “berço a berço” desse sistema construtivo, é importante entender o quão sustentável é a taipa para contribuir no processo de tomada de decisão frente aos sistemas convencionais de construção. Assim, se faz necessário encontrar indicadores que revelem os impactos energético e ambiental do ciclo de vida da taipa de pilão nas etapas após a sua construção.

Dessa maneira, o objetivo da pesquisa foi analisar os aspectos ambientais do inventário do ciclo de vida da taipa de pilão nas fronteiras berço a berço. Para tal, foi determinado a energia demandada e a emissão de gases poluentes em um 1m² de parede da taipa de pilão nas etapas de extração de matéria-prima, fabricação de materiais, transporte de insumos, execução da taipa, manutenção durante o uso, demolição e destinação final; considerando a influência das condições da aplicação tecnológica do cimento como estabilizante e da mecanização no processo construtivo.

2. MATERIAIS E MÉTODO

Os valores quantitativos dos aspectos ambientais do sistema construtivo taipa de pilão foram obtidos por meio do método de análise de ciclo de vida (ACV) seguindo

as diretrizes da norma NBR ISO 14040 (ABNT, 2009). Para isso, foram estudadas as etapas de extração, execução, manutenção, demolição e destinação da taipa de pilão, considerando a análise do inventário “berço a berço”, verificando os seguintes indicadores ambientais: energia incorporada (MJ); consumo de água (l); emissão de gás carbônico (g); e emissão de gases poluentes (g) - metano (CH₄); óxidos (N₂O; NO_x; SO_x; SO₂); componentes orgânicos voláteis (COVs).

2.1 TAIPA DE PILÃO

A taipa de pilão é um sistema construtivo de parede em que se utiliza o solo (terra) como matéria-prima, acrescida de água até atingir uma umidade ideal para a compactação da mesma. As diretrizes do processo construtivo são de acordo com a norma NBR 17014 (ABNT, 2022), que orienta o uso de fôrmas removíveis, preparação e mistura dos materiais no próprio local da obra e aplicação de um compactador manual ou mecanizado. Pode-se ou não adicionar estabilizantes químicos, desde que a parede atinja os pré-requisitos de desempenho físico-mecânico. Normalmente, a parede de terra não necessita de revestimentos primários como chapisco, emboço e reboco, pois a própria parede pode ser exposta, assim como as instalações elétricas e hidráulicas podem ser embutidas ou externas. Entretanto, a taipa pode receber acabamento de pintura ou assentamento de peças decorativas, sendo uma opção do usuário dessa edificação.

Quanto a manutenção das edificações de taipa, esta é feita com o intuito de manter a proteção e impermeabilização em dia, pois a água pode causar danos à estrutura. Já na destinação do fim de uso da parede, a taipa de pilão muda de acordo com componentes em sua mistura. A parede de terra sem estabilizante quando demolida de forma seletiva é considerada reversível. Já no caso da taipa estabilizada com cimento, a demolição de uma parede gera resíduos da construção e demolição (RCD), e deve passar por reciclagem e ser reutilizado como agregado reciclado.

O modelo de parede estabilizada com cimento e executada com o compactador pneumático (equipamento mecanizado) foi adotada como referência e utilizada para coleta de dados primários. A edificação modelo encontra-se na Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS) em Campo Grande – MS, intitulada de Canteiro experimental (Figura 1). Este protótipo foi construído por Veraldo (2015) como um estudo de caso e analisado o ciclo de vida desde a extração do material até sua execução por Miranda (2017).

Para a presente pesquisa, o intuito foi variar a composição da mistura de solo e o modo de execução da taipa, e assim obter a influência destas variáveis sobre as etapas do ciclo de vida. Na etapa de execução, há duas maneiras de compactar a terra umedecida, utilizando um compactador manual, sem uso de energia, ou um compactador pneumático. Essa é a primeira diferença de processo construtivo abordada no estudo para verificar quais são os indicadores ambientais que despontam ao utilizar um equipamento mecanizado.



Figura 1: Canteiro experimental UFMS
Fonte: Site do programa de pós-graduação UFMS (2019)

Já na etapa do preparo da mistura do material, se seguiu diretrizes de Zhang et al., 2018; Soudani et al., 2018; Serrano et al., 2017; Nanz et al., 2019; Milani, Labaki, 2012; Veraldo, 2015; sendo selecionada a composição de solo+água e a composição de solo+água+adição de cimento com traço 1:12 (cimento:solo, em massa). Nesse caso de diferentes misturas, implica na resistência físico-mecânica da parede, e, portanto, para equalizar esta variável e não influenciar na ACV, as espessuras variaram para que se alcance o mínimo de resistência exigida para paredes de edificações, que é de 1,3 MPa (NBR 17014, 2022).

Ainda de acordo com esta norma, a taipa sem adição de estabilizante também deve atender um limite de esbelteza, que se traduz numa espessura de, no mínimo, 30 cm. Já a taipa com adição de cimento deve possuir espessura maior ou igual a 12 cm. Assim, foi adotado quatro tipos de paredes para o estudo:

- Parede 1 – taipa cim+mec: taipa de pilão estabilizada com adição de cimento, no traço 1:12 (cimento: solo, em massa) e executada com compactador pneumático. Espessura da parede de 12 cm;

- Parede 2 – taipa mec: taipa de pilão sem estabilizante e executada com compactador pneumático. Espessura da parede de 30 cm;

- Parede 3 – taipa cim+man: taipa de pilão estabilizada com adição de cimento, no traço 1:12 (cimento:solo, em massa) e executada com compactador manual. Espessura da parede de 12 cm;

- Parede 4 – taipa man: taipa de pilão sem estabilizante e executada com compactador manual. Espessura da parede de 30 cm.

2.2 Método ACV

A metodologia ACV foi realizada até a fase inventário, sendo consideradas as entradas, fronteiras e saídas na Figura 2. Para que as quatro paredes fossem avaliadas de maneira igualitária, foi adotado a unidade funcional de 1m² de taipa de pilão. Não foram abordadas as etapas de operação devido a dependência de fatores comportamentais de usuários; e nem de reciclagem ou descarte do RCD pela relação intrínseca com programa de gestão ambiental local.

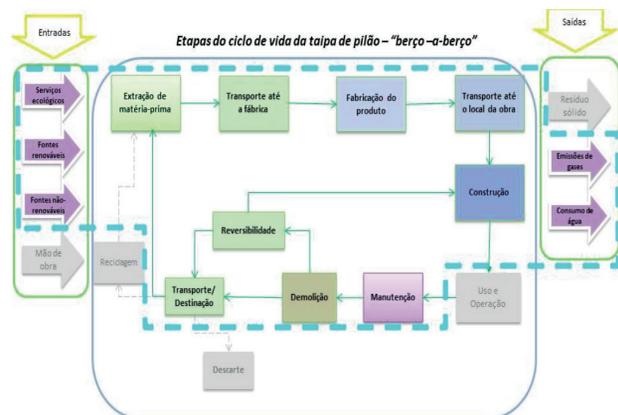


Figura 2 Fronteiras do estudo do ciclo de vida da taipa de pilão
Fonte: Autora

Para as entradas do inventário, os insumos foram o solo arenoso, o cimento CII-F, a água para construção da taipa e a resina acrílica para acabamento e posterior manutenção da taipa. Ainda como entradas foi considerado o consumo de energia, independente da fonte, para extração, fabricação e transporte desses insumos, bem como a energia consumida pelos equipamentos para construção, manutenção, demolição e destinação da taipa. Já em relação as saídas, a análise do inventário abordou a emissão de gases poluentes, como gás carbônico (CO₂), metano

(CH4), óxidos, carbonetos e material particulado.

A coleta de dados primários em relação aos tipos e quantitativos dos insumos e dos equipamentos usados nos quatro tipos de paredes propostos partiu do estudo de caso da edificação Canteiro experimental UFMS (Tabela 1), utilizando-se de documentos que detalharam a construção do protótipo, como notas fiscais, diário de obra; e o próprio trabalho de Veraldo (2015) que detalhou o processo construtivo no Canteiro Experimental.

A jazida de solo arenoso utilizada na obra do canteiro experimental encontra-se a 20 km de distância da obra, sendo utilizada a pá carregadeira de potência entre 130 kW e 560kW para fase de extração desta matéria-prima, e o caminhão 23 PBT de carga máxima 15 toneladas como o transporte do material até a obra. Estes equipamentos utilizam óleo diesel para funcionar, sendo adotado de Campos (2012) a faixa de consumo de combustível para pá carregadeira de 17,74 L/h e de 0,006 a 0,022 L/t.km para o caminhão basculante. Considerou-se os dados de energia e emissão incorporados no diesel de BEN (2014), EPA (2010), MMA (2014), Silva (2013), Vianna (2006) e CONAMA (2011).

Já a fábrica de produção de cimento mais perto da região se encontra a 298 km de distância. Essa quilometragem foi considerada porque para uma análise equitativa da etapa de transporte dos insumos até a obra, deve-se partir da origem de fabricação do cimento e de extração do solo. Desta maneira evita-se mascarar os resultados que consideram o cimento como se fosse produzido no local de uso.

O cimento teve seus aspectos ambientais analisados a

partir da etapa de produção na fábrica, não abrangendo os dados de extração de matérias-primas para se produzir o cimento. O cálculo da energia e emissões relativas à produção do cimento CP II-F foi feito uma média dos relatórios de sustentabilidade das empresas INTERCEMENT (2015) e VOTORANTIM (2015).

Seguindo para a próxima etapa, na execução da parede foi aplicado uma betoneira com produção horária de 4 m³/h com 220 W de potência para misturar os materiais. Com a mistura pronta, a confecção da parede necessita do uso de um compactador, desse modo, nas paredes taipa cim+mec e mec foi considerado o uso de um compactador mecanizado, que é abastecido por um compressor de ar de 3800 W de potência. Nos outros dois casos (taipa cim+man e man) foi considerado o uso de um compactador manual, não utilizando fontes de energia para funcionar. A energia de ambos equipamentos é a energia elétrica, sendo esta analisada por meio da potência do maquinário e o tempo de uso no Canteiro Experimental (Tabela 1).

Para o caso da energia consumida para produção de 1 kWh de energia elétrica, foi adotado o valor de 3323 kJ/ kWh de energia incorporada (SILVA, 2013). Já para a emissão de gases poluentes incorporados na geração de energia elétrica foi de acordo com a Estimativas Anuais de Gases do Efeito Estufa no Brasil (MCTI, 2022).

Não foi considerado o ciclo de vida das fôrmas utilizadas para a construção, e sim apenas o uso delas, isto se deve pelo motivo de que os quatro tipos proposto de paredes fazem parte do mesmo sistema construtivo, o que quer dizer que todas necessitam da mesma quantidade de fôrmas, se tornando então indiferente para a presente pesquisa.

Paredes	Solo (kg)	Cimento (kg)	Água (l)	Solo compacto (m ³)	Solo solto (m ³)	Umidade ótima	Tempo de uso betoneira (h)	Tempo de uso compactador (h)
1- Taipa cim+mec	340	23	16,6	0,12	0,25 m³	7,7%	0,063	0,02
3 -Taipa cim+man								0,0
2 -Taipa mec	850	0,0	54	0,30	0,59 m³	10%	0,149	0,45
4 -Taipa man								0,0

Tabela 1: Dados primários dos insumos e dos equipamentos coletados no Canteiro Experimental UFMS
 Fonte: Autora

A partir da etapa de manutenção em diante, os dados primários dos quantitativos dos insumos e dos equipamentos usados nos quatro tipos de paredes foram obtidos a partir de entrevistas com três empresas privadas brasileiras do setor de construção com terra.

De acordo com as entrevistas nas empresas construtoras de taipa, foi considerado na fase de manutenção o uso da tinta resina acrílica a base de água a cada 5 anos. Como o mínimo de durabilidade a ser atingido por uma parede é de 50 anos, segundo a norma de desempenho para edificações habitacionais NBR 15575 (ABNT, 2013), foi adotado para os cálculos do inventário a aplicação de 10 vezes da tinta na parede durante a vida útil da taipa. Adotou-se dos manuais técnicos dos fabricantes o consumo de 2 demãos de tinta na faixa de 0,16 L/m² a 0,24 L/m².

Segundo a ficha técnica da tinta resina acrílica, esta possui a água como solvente e a garantia de durabilidade de aproximadamente 5 anos após sua aplicação, ou seja, posteriormente a isso, seus poluentes já foram emitidos e a degradação da pintura (descascamento) já é bem avançada. Então, foi possível considerar que o uso da resina não altera as propriedades das paredes 2 e 4 (sem estabilizante cimentício) ao final do ciclo de vida da taipa e, portanto, essas paredes podem ser ainda consideradas material reversível (CHAI et al., 2011).

Para produção da tinta resina acrílica a base de água utiliza-se das seguintes fontes de energia: óleo diesel; energia elétrica e gás natural. Assim, este produto teve suas emissões e energia incorporada calculadas pelo percentual da influência dessas fontes energéticas no inventário sobre tintas apresentado por Hammond e Jones (2011).

Verificando a etapa de demolição, segundo as empresas entrevistadas, o uso do martelo demolidor elétrico de 7 kg e potência de 1300 W apresenta o consumo de tempo médio de 2 h/m³ de taipa demolida. Na situação das paredes sem estabilizantes, as quais após a demolição o material residual precisa ser britado, foi adotado o equipamento triturador de entulho TE2 CSM com potência de 2200 W, que necessita igualmente de energia elétrica para o seu funcionamento e produção de britagem de RCD aproximada de 2 m³/h.

Por fim, na etapa de destinação, houve dois destinos diferentes para os materiais residuais, pois um se tornou RCD e o outro solo reutilizável. Foi adotado que o material solo fosse transportado de volta a jazida localizada a 20 km da obra. Já o resíduo de demolição foi encaminhado a usina de reciclagem, localizada em Campo Grande a 13

km do local da obra. O mesmo caminhão 23 PBT de 15 toneladas foi adotado como o transporte destes materiais até sua destinação final.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao analisar de forma global os aspectos ambientais de todas as etapas do inventário verifica-se a relevância do fator transporte sobre as emissões e o consumo de energia do ciclo de vida da taipa de pilão (Tabela 2). Isto porque quando se agrupam os resultados, independente dos valores mínimos ou máximos de entradas e saídas na etapa do transporte, há uma grande diferença entre os valores dos indicadores de transporte e demais fases do ciclo de vida.

Essa discrepância se deu pelo fato de a fábrica de cimento ser consideravelmente mais longe da obra, do que a jazida de solo. Dessa maneira, ela acarretou significativa diferença na emissão de CO₂ e de gases poluentes nos casos das taipas cim+mec e cim+man. Mesmo a quantidade de solo arenoso das taipas mec e man serem mais que o dobro do que o solo necessário nas paredes de taipas cim+mec e cim+man, ainda assim, a significância é dada pelas distâncias dos locais de extração e fabricação dos insumos até a obra (Tabela 3).

Por outro lado, se o cimento fosse adquirido com maior proximidade do seu local de fabricação, ainda sim a etapa de transporte dos insumos até a obra continuaria a ser a mais relevante diante as demais fases do ciclo de vida da taipa de pilão. Entretanto, o cimento não escapa dos seus elevados indicadores ambientais, pois sua fabricação também é significativa, e independente do transporte, o cimento gera consideráveis emissões de gases poluentes, principalmente o gás carbônico.

Já se a jazida de solo arenoso não fosse próxima a obra – o que pode ocorrer em vários lugares do Brasil, por ser um tipo específico de solo, com propriedades físicas mínimas para ser considerável próprio para a execução da taipa – poderia ser o próprio solo que estaria proporcionando essa discrepância de valores nos indicadores ambientais.

Portanto, o foco do problema é a distância dos locais, independente do insumo, principalmente porque a fonte de energia do transporte é proveniente de combustíveis fósseis que emitem mais poluentes, já que o meio de transporte mais comum no Brasil é o rodoviário.

Estes dados vão de acordo com Arrigoni et al. (2017), Nanz et al. (2019) e Melià et al. (2014) que também concluíram que compensaria corrigir a granulometria de um solo da jazida próxima ao local da obra, para se tornar adequado ao projeto, do que transportar um solo adequado, porém distante da construção/obra.

Ainda na Tabela 2, independente do tipo de parede, as etapas

ETAPAS *	PAREDE 1			PAREDE 2			PAREDE 3			PAREDE 4		
	Talpa clim+mec			Talpa mec			Talpa clim+man			Talpa man		
	Energia (MJ)	Emissão CO ₂ (g)	Emissão poluentes (g)	Energia (MJ)	Emissão CO ₂ (g)	Emissão poluentes (g)	Energia (MJ)	Emissão CO ₂ (g)	Emissão poluentes (g)	Energia (MJ)	Emissão CO ₂ (g)	Emissão poluentes (g)
TRANSP. OBRA	1.108	84.147	350,40	75,33	5.719	23,82	1.108	84.147	350,40	75,33	5.719	23,82
DESTI-NAÇÃO	67,83	5.150	5.171	75,33	5.719	23,82	47,49	5.150	5.171	75,33	5.719	23,82
EXTR. FABRI.	67,79	12.344	49,39	2,32	456,89	3,46	67,79	12.344	49,39	2,32	456,89	3,46
MANU-TENÇ.	18,91	2.643	35,93	18,91	2.643	35,93	18,91	2.643	35,93	18,91	2.643	35,93
DEMO-LIÇÃO	1,04	21,94	0,20	3,69	78,14	0,70	1,04	21,49	0,20	3,69	78,14	0,70
CONS-TRUÇÃO	0,65	13,68	0,12	1,53	32,30	0,29	0,46	9,75	0,09	1,09	22,98	0,21
TOTAL	1.265	104.321	5.607	177,11	14.649	88,02	1.244	104.317	5.607	176,67	14.640	87,94
	4º Posição			2º Posição			3º Posição			1º Posição		

*Considerado para todas as paredes valores mínimos de entradas e saídas no inventário.

Tabela 2: Indicadores ambientais do ciclo de vida da taipa de pilão em ordem decrescente
 Fonte: Autora

Entradas/saídas		Talpa clim+mec		Talpa mec	
		Talpa clim+man	Mínimo	Máximo	Mínimo
Energia (MJ)	solo	73,06	267,89	75,33	276,22
	cimento	1035,33	3796,20	-	-
CO ₂ (g)	solo	5546,68	20337,84	5719,28	20970,71
	cimento	78600,97	288203,60	-	-
CH ₄ (g)	solo	5,03	18,43	5,18	19,00
	cimento	71,22	261,10	-	-
MP (g)	solo	0,35	1,301	0,37	1,34
	cimento	5,03	18,44	-	-
NH ₃ (g)	solo	0,0001	0,00026	0,0001	0,00027
	cimento	0,001	0,00367	-	-
N ₂ O (g)	solo	0,20	0,74	0,21	0,76
	cimento	2,87	10,50	-	-
NO _x (g)	solo	13,70	50,24	14,13	51,80
	cimento	194,17	711,95	-	-
SO ₂ (g)	solo	2,11	7,74	2,18	7,98
	cimento	29,90	109,64	-	-
SO _x (g)	solo	0,01	0,045	0,01	0,05
	cimento	0,18	0,64	-	-
H ₂ S (g)	solo	0,000	0,0013	0,0004	0,0015
	cimento	0,006	0,02	-	-
COVNM (g)	solo	1,69	6,19	1,74	6,39
	cimento	23,94	87,79	-	-

Tabela 3: Inventário da etapa transporte dos insumos até o local da obra.
 Fonte: Autora

que seguem se destacando com maiores consumos energéticos e emissões gasosas são as etapas extração e fabricação, seguida da manutenção. Estas são justamente as etapas de produção de materiais industrializados, os quais tem maior consumo de energia e emissão de gases poluentes no seu processo fabril. Também foi verificado que as etapas de construção e demolição da parede possuíram os menores valores de indicadores ambientais, visto que ambas se utilizam apenas de energia elétrica com fonte de energia, mostrando que essa fonte é a que menos gera poluentes para a ACV da taipa de pilão.

Na Tabela 4, conforme foi notado na etapa de transporte para obra, a emissão de CO₂ é relevante nos quatro casos, mesmo sendo distâncias consideradas pequenas ou periféricas à cidade para a etapa de transporte e destinação da taipa demolida. Porém, nota-se pouca diferença, por exemplo, no valor mínimo de combustível consumido entre a destinação do resíduo (taipas cim+mec e cim+man) e a destinação do solo reversível (taipas mec e man), sendo compreendido pelo consumo mínimo do combustível de 0,006 L/t.km. Ou seja, para volume de massa das taipas que, mesmo diferentes, ainda pequenas em relação a 1 tonelada, se tornam irrelevantes no conjunto do cálculo (Tabela 4). Já nos valores máximos, a diferença se dá um pouco maior, visto que o consumo considerado é de 0,022 L/t.km. Assim, maiores distâncias altera a quantidade de combustível consumida, reforçando que a longinquidade dos insumos é o principal fator no consumo de energia e emissão de gases no ciclo de vida da taipa.

Com o entendimento que o transporte eleva de forma discrepante os valores dos indicadores ambientais, optou-se por fazer uma análise relacionando os indicadores das etapas extração e fabricação, construção, manutenção e demolição (Figuras 3 a 7). Assim, pode-se identificar que a emissão de gás carbônico se destaca dentre as etapas, sendo muito maior do que as emissões de poluentes. Enquanto a emissão de CO₂ está na faixa de 1.000 g a 11.000 g, a emissão de poluentes não chega nem a 70 g em nenhuma destas etapas (Figura 3).

Entradas/ Saídas	RCD TAIPA (taipa cim+mec e taipa cim+man)		TAIPA REVERSÍVEL (taipa mec e taipa man)	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Quantidade de combustível consumida (L)	1,82	4,67	2,02	7,41
Energia (MJ)	67,83	174,13	75,33	276,22
CO ₂ (g)	5149,96	13219,60	5719,28	20970,71
CH ₄ (g)	4,67	11,98	5,18	19,00
MP (g)	0,33	0,85	0,37	1,34
NH ₃ (g)	0,00	0,00	0,00	0,00
N ₂ O (g)	0,19	0,48	0,21	0,76
NO _x (g)	12,72	32,66	14,13	51,80
SO ₂ (g)	1,96	5,03	2,18	7,98
SO _x (g)	0,01	0,03	0,01	0,05
H ₂ S (g)	0,00	0,00	0,0004	0,0015
COVNM (g)	1,57	4,03	1,74	6,39

Tabela 4: Inventário da etapa transporte da taipa demolida para destinação final.
 Fonte: Autora

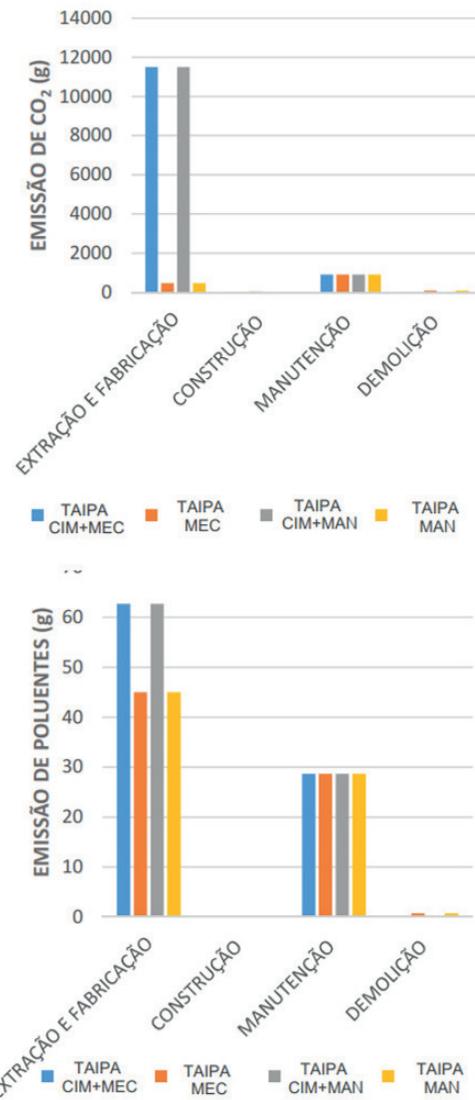


Figura 3: Emissão de CO₂ e poluentes nas etapas excludentes de transporte
 Fonte: Autora

Visto isso, pode se observar que os valores comentados nas etapas de construção e demolição de maneiras isoladas são baixos se comparados com outras etapas como a extração e a manutenção. Enquanto os poluentes da extração são em torno de 3 g a 40 g, as paredes na etapa de construção não emitem mais que 0,3 g de poluentes (Figura 3).

Na emissão de gás carbônico, a etapa extração e fabricação tem maior discrepância nas paredes 1 e 3 (taipas cim+mec e cim+man) quando comparada com a etapa manutenção (Figura 3). Enquanto na etapa extração e fabricação as paredes emitem em torno de quase 12 kg de CO₂, na manutenção os valores são por volta de 1,6 kg, isto é 7,5 vezes menor que a etapa extração por conta da produção do cimento. E quando se foca para o consumo de energia, as paredes 1 e 3 consomem em média 68 MJ na extração e fabricação, e na manutenção consomem 18

MJ, sendo ainda considerável a diferença de valor entre as paredes (Figura 4).

Isto pode ser explicado pelo fato de a tinta resina acrílica apresentar-se com menor emissão de poluentes neste inventário, pois enquanto o cimento consumido é de 23 kg, o consumo de tinta é, em torno de 1,5 kg de resina por parede. Sendo assim, não necessariamente a tinta é menos poluente que o cimento, se fosse comparado em mesma quantidade aplicada.

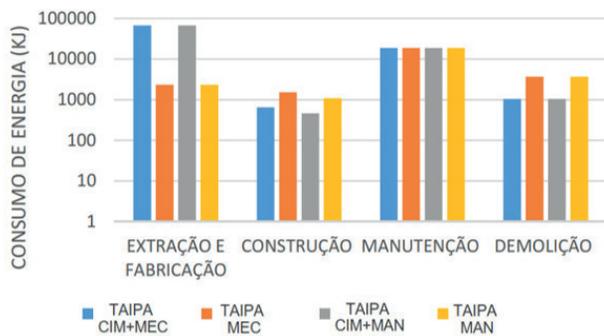


Figura 4: Consumo de energia (KJ) nas etapas excludentes de transporte
Fonte: Autora

Outro ponto importante é que, mesmo retirando o transporte da análise, as etapas construção e demolição ainda parecem quase irrisórias quando comparadas com as outras etapas (Figura 3). O que elas têm em comum é que ambas utilizam apenas de energia elétrica como fonte de energia, podendo ser um dos fatores responsáveis pelos pequenos valores apontados. Como Arrigoni et al. (2017) constataram em sua pesquisa, o uso de combustíveis fósseis são os principais insumos responsáveis pelo consumo de energia e emissões de poluentes, podendo até ser responsável por 80% dos valores dos aspectos ambientais da taipa.

Mais um ponto notado é que, verificando os resultados de emissão de poluentes, a divergência de valor já é bem menor, porém é porque na etapa de manutenção há maior emissão de poluentes do que de gás carbônico (Figura 3). Isso evidencia que em alguns materiais, os aspectos ambientais se comportam de maneira distinta, e que nem sempre porque em um aspecto tem um valor mais expressivo que em outro resultará em valores proporcionais.

A partir deste fato, foi observado nas Figuras 5, 6 e 7, apenas as duas etapas que não utilizam fontes de combustíveis – construção e demolição da parede – e os resultados mostraram que, as paredes com mesma composição da mistura de solo e diferente tipo de compactação, ou seja, as paredes taipa cim+mec e taipa cim+man e as paredes taipa mec e taipa man, se comparadas entre si, apresentaram similares consumo energético e emissões, independente do tipo de compactação, refletindo no uso do compactador mecanizado com pouca interferência nos

valores de consumo de energia e emissões de gases poluentes. Isto quer dizer que diante de todo o ciclo de vida da taipa de pilão, o uso do compactador tem pouca influência sobre os resultados, sendo considerado viável ambientalmente o uso do equipamento mecanizado em detrimento ao processo manual.

Ressalta-se que a etapa de construção foi a única fase do ciclo que cada parede teve um valor diferente para os indicadores calculados, isto porque houve variação no volume de massa misturada e compactada. Essa variação de volume dos materiais componentes da taipa refletiu negativamente no consumo de água de cada parede (Tabela 1), o que resultou na quantidade de água três vezes maior para construir as taipas mec e man (sem cimento) do que nas taipas cim+mec e cim+man (com cimento). Miranda (2017) também verificou isso quando comparou a parede de taipa de pilão com os materiais convencionais, pois apesar de em alguns indicadores apresentarem bom desempenho com valores menores, no quesito consumo de água, a taipa consumia um valor bem mais alto que as outras técnicas, podendo ser considerada a mais prejudicial nesse aspecto.

Já na etapa de demolição apresentou-se os maiores valores dos indicadores ambientais do que na etapa de construção, visto que apesar de serem o mesmo volume de massa compactada ou demolida, a potência dos equipamentos tem maior relevância para os valores de consumo de energia e emissão de poluentes. Isso pode ser visto na emissão de poluentes, enquanto a parede 2 (taipa mec) emite em torno de 0,29 g de gases na etapa de execução, a mesma parede emite 0,7 g na etapa de demolição (Figuras 6 e 7).

Um último destaque na etapa de demolição, o ato de tornar a parede demolida um solo reversível gerou maiores valores de gasto de energia e emissão de gases. Entre os valores dos indicadores das paredes que não utilizaram o triturador (paredes 1 e 3) e as paredes sem estabilizantes (paredes 2 e 4), tanto a energia quanto a emissão de gases obtiveram uma diferença de, no mínimo, 3 vezes maior no valor destes indicadores (Figuras 5, 6 e 7). Este comportamento pode ser considerado relevante na análise somente desta etapa, levando num primeiro momento a contestar os ganhos ambientais com a reversibilidade, porém, quando observado os valores de todas as etapas (Tabela 2), essa diferença é desprezível comparada com os resultados das demais etapas que envolvem o transporte.

Por fim, apesar da proximidade da jazida de solo - que ameniza consideravelmente os indicadores das taipas sem cimento (paredes 2 e 4) - essa hipótese de curta distância entre matéria prima/produto e obra/edificação pode considerar viável ambientalmente a construção de paredes apenas com a composição da mistura solo+água. Por mais que os equipamentos na execução e na demolição da taipa sem cimento sejam aplicados por mais tempo do

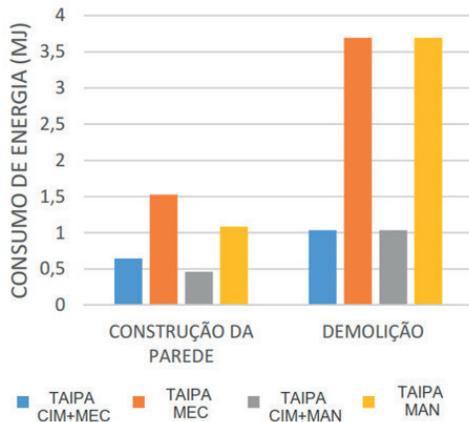


Figura 5: Consumo de energia nas etapas de construção e demolição
 Fonte: Autora

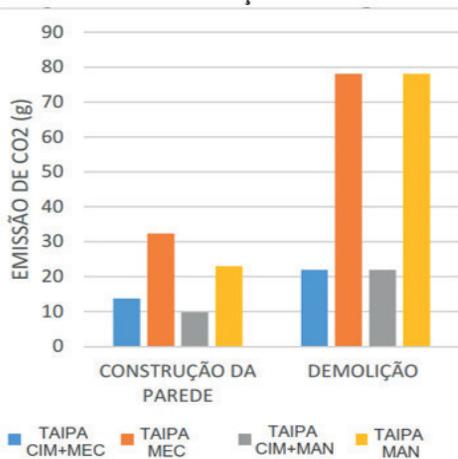


Figura 6: Emissão de CO2 nas etapas de construção e demolição
 Fonte: Autora

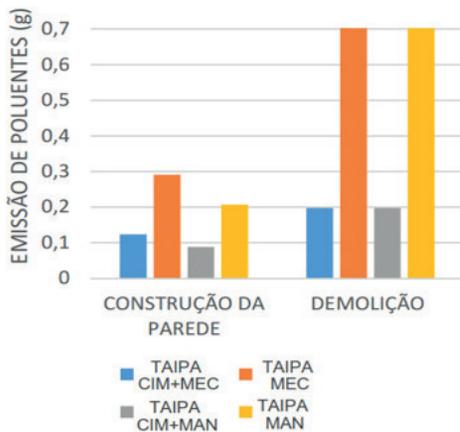


Figura 7: Emissão de poluentes nas etapas de construção e demolição
 Fonte: Autora

que na taipa estabilizada com cimento; no geral, os indicadores ambientais da taipa de pilão, sem estabilizante, com compactação manual ou mecanizada, construída em conformidade com as diretrizes da NBR 17014 (ABNT, 2022), e demolida para se tornar um solo reversível ainda apresentam valores baixos comparados aos indicadores da taipa de pilão estabilizada com cimento.

É interessante adicionar que, para melhor entendimento do que os valores dos aspectos ambientais

representam para problemática ambiental, deve-se estudar o que cada faixa de valores dos indicadores indica de gravidade para impactos ambientais. Destaca-se a emissão de CO2 que foi exageradamente maior que a emissão de poluentes para a ACV da taipa de pilão, entretanto, não foram estudados quais valores seriam necessários para causar um determinado impacto ambiental. Sendo assim, pode ser que os valores de alguns poluentes representem mais perigo ao meio ambiente do que a emissão de CO2, o que não pode ser afirmado neste trabalho, pois não foram abordados impactos ambientais.

4. CONCLUSÃO

Foi possível analisar os aspectos ambientais da taipa de pilão, corroborando o transporte como a etapa mais prejudicial do ciclo de vida, sendo responsável por pelo menos 80% das emissões de CO2 e do consumo de energia independente do tipo de parede. Além disso, a etapa de fabricação de materiais também colabora com maiores emissões de poluentes, como no caso da produção do cimento Portland e da tinta de resina acrílica.

Visto que os resultados da fabricação foram de altos valores de indicador ambiental, a adição de cimento como estabilizante na taipa de pilão não é benéfico ou viável ambientalmente. Apesar de otimizar o consumo do material solo e, conseqüentemente, o uso de equipamentos, essas etapas não são suficientes para balancear a emissão de gases e o consumo de energia gasto nas etapas de extração e fabricação e transporte até a obra. Ademais, o cimento não influencia na etapa de manutenção, já que a taipa sem produto cimentício garante a mesma durabilidade que a estabilizada quimicamente e, portanto, o mesmo processo de conservação à base tinta deve ser utilizado para ambos os casos.

Diante disso, a taipa de pilão sem o estabilizante cimento pode ser considerada a mais viável, mesmo que esta parede necessite de mais solo para se adequar as mínimas características físico-mecânicas, e mais tempo de uso dos equipamentos nas etapas de construção e demolição. Além de seus valores dos indicadores ambientais, em sua maioria, serem menores em relação a parede adicionada de cimento, a taipa de pilão sem material cimentício é reversível, ou seja, não gera resíduo da construção civil no fim do uso e pode ser inserida como matéria-prima. Dessa maneira, a taipa de pilão sem cimento pode fechar o ciclo de vida através do processo de reversibilidade, sem a necessidade de maiores gastos energéticos e emissões gasosas com as etapas de destinação final por

reciclagem ou descarte em aterros.

Quando o quesito de comparação dos processos construtivos das taipas foi o uso de compactadores manual ou mecanizado, os resultados não mostraram valores expressivos, ou seja, o uso de compactador mecanizado consome e emite valores irrisórios de energia e poluentes. Isto se deve pelo fato de o equipamento ser abastecido com energia elétrica, e ser quase que desprezível se comparar com as outras etapas do ciclo de vida da taipa. Com isso, pode ser concluído que não há diferença relevante entre taipa mecanizada e taipa manual, podendo apresentar maior viabilidade técnico-ambiental o uso de compactador mecânico, por conta da facilidade do manuseio, agilidade no processo construtivo, e padronização da compactação das camadas das paredes.

REFERÊNCIAS

ARRIGONI, A. et al. Life cycle analysis of environmental impact vs. durability of stabilized rammed earth. **Construction and Building Materials**. v. 142, p. 128-136. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.066>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040 (2009): **Avaliação de ciclos de vida, princípios e estrutura**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575 (2013): **Edificações habitacionais – Desempenho**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 17014 (2022): **Taipa de pilão – Requisitos, procedimentos e controle**. Rio de Janeiro.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL - BEN. Rio de Janeiro. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2014.pdf. Acesso em: jul. 2021.

BEN-ALON, L. et al. Life cycle assessment (LCA) of natural vs conventional building assemblies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 144, p. 1-11, 110951. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110951>

BUYLE, M. et al. Sustainability assessment of circular building alternatives: Consequential LCA and LCC for internal wall assemblies as a case study in a Belgian context. **Journal of Cleaner Production**. v. 218, p,

141-156. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.306>

CAMPOS, E. F. DE. **Emissão de CO2 da madeira serrada da Amazônia: o caso da exploração convencional**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2012. Dissertação de Mestrado. 172 p. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-12062013-170523/publico/POLI_Defesa_FINAL_revisao.pdf. Acesso em: jul. 2021.

CHAI, C. et al. **Previsão da vida útil de pinturas de paredes exteriores**. Engenharia civil. v. 41, p. 51 – 63. 2011. Disponível em: <http://www.civil.uminho.pt/revista/artigos/n41/Pag51-63.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2021.

CIANCIO, D. JACQUIN, P. WALKER, P. Advances on the assessment of soil suitability for rammed earth. **Construction and Building Materials**. N.42, p.40–47, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.12.049>

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução no433, de 13 de julho de 2011. Disponível em: http://www.mpsp.mp.br/portal/page/portal/cao_urbanismo_e_meio_ambiente/legislacao/leg_federal/leg_fed_resolucoes/leg_fed_res_conama/Resol-CONAMA-433-11_PROCONVE.pdf. Acesso em: jul. 2021.

DE WOLF, C. et al. **Life cycle building impact of a Middle Eastern residential neighborhood**. Energy. v.134, p. 336-348. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.06.026>

DI MARIA, A. EYCKMANS, J. ACKER, K. V. Downcycling versus recycling of construction and demolition waste: **Combining LCA and LCC to support sustainable policy making. Waste Management**. v. 75, p. 03-21. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.01.028>

DONG, X. SOEBARTO, V. GRIFFITH, M. Achieving thermal comfort in naturally ventilated rammed earth houses. **Building and Environment**. v. 82, p. 588-598. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.09.029>

FERNANDES, J. et al. Life cycle analysis of environmental impacts of earthen materials in the Portuguese

context: Rammed earth and compressed earth blocks. **Journal of Cleaner Production**. v. 241, p. 01-19, 118286. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118286>

GHISELLINI, P. RIPA, M. ULGIATI, S. Exploring environmental and economic costs and benefits of a circular economy approach to the construction and demolition sector. A literature review. **Journal of Cleaner Production**. v. 178, p. 618-643. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.207>

HAMMOND, G. JONES, C. **Embodied carbon – The inventory of carbon and energy (ICE)**. University of Bath – BSRIA. 2011. Disponível em: <http://www.emccement.com/pdf/Full-BSRIA-ICE-guide.pdf>. Acesso em: jul. 2021.

INTERCEMENT. **Relatório Anual** 2015. Brasil, 2015. Disponível em: <http://www.intercement.com/sites/ra2015/web/> Acesso em: jul. 2021.

KARIYAWASAM, K.K.G.K.D. JAYASINGHE, C. Cement stabilized rammed earth as a sustainable construction material. **Construction and Building Materials**. V. 105, p. 519-527. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.189>

MELIÀ, P. et al. Environmental impacts of natural and conventional building materials: a case study on earth plasters. **Journal of Cleaner Production**. v. 80, p. 179-186. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.073>

MILANI, A. P. S. LABAKI, L. C. Physical, Mechanical, and Thermal Performance of Cement-Stabilized Rammed Earth–Rice Husk Ash Walls. **Journal of Materials in Civil Engineering**. v. 24, p. 775-782. 2012. Disponível em: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000439](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000439)

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO - MCTI. **Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil**, 6ª edição. 2022. Disponível em: http://www.mct.gov.br/upd_blob/0237/23769.pdf. Acesso em: jul. 2021.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013** Ano Base 2012 – Relatório Final, Brasília, 2014. Disponível em: <http://www.ineia.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zeww/mdmx/~edisp/ineia0031540.pdf>. Acesso em: jul. 2021.

ineia.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zeww/mdmx/~edisp/ineia0031540.pdf. Acesso em: jul. 2021.

MIRANDA, A. S. (2017) **Análise comparativa de métodos simplificados de ACV aplicado a paredes de edificações**. Campo Grande: dissertação – UFMS. 170p. Disponível em: <https://posgraduacao.ufms.br/portal/trabalho-arquivos/download/4820>. Acesso em: jan. 2020.

NANZ, L. et al. Impacts on the Embodied Energy of Rammed Earth Façades During Production and Construction Stages. **Journal Of Facade Design & Engineering**. v. 7, p. 075-088. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.7480/jfde.2019.1.2786>

Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Eficiência Energética e Sustentabilidade da UFMS – PPGEES/UFMS. Disponível em: <https://ppgees.ufms.br/publicacoes/repositorio-ppgees/producao-tecnica-tecnologica/>. Acesso em: jan.2019.

REDDY, B.V.V. LEUZINGER, G. SREERAM, V.S. Low embodied energy cement stabilized rammed earth building—A case study. **Energy and Buildings**. v. 68, p. 541-546. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.09.051>

SERRANO, S. et al. Rammed earth walls in Mediterranean climate: material characterization and thermal behavior. **International Journal of Low-Carbon Technologies**. v. 12, p. 281-288. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctw022>

SILVA, B. V. **Construção de ferramenta para avaliação do ciclo de vida de edificações**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2013. Dissertação de Mestrado. 146 p. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-15052013-103100/publico/digital.pdf>. Acesso em: jul. 2021.

SOUDANI, L. et al. Energy evaluation of rammed earth walls using long term in-situ measurements. **Solar Energy**. v. 141, p. 70-80. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.11.002>

TAYLOR, P. FULLER, R.J. LUTHER, M.B. Energy use and thermal comfort in a rammed earth office building. **Energy and Buildings**. v. 40, p.793-800. 2008. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.05.013>

TORGAL, F. P. JALALI, S. Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction. **Construction and Building Materials**. v. 29, p. 512-519. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.10.054>

UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad Engine Modeling -Compression-Ignition. Assessment and Standards Division Office of Transportation and Air Quality U.S. **Environmental Protection Agency. Report No. NR-009d July 2010**. Disponível em: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P10081UI.PDF?Dockey=P10081UI.PDF>. Acesso em: jul. 2021.

VERALDO, A. C. (2015). **Análise do processo construtivo de taipa mecanizada: estudo de caso da sede do canteiro experimental da UFMS**. Campo Grande: dissertação – UFMS. 121p. Disponível em: <https://posgraduacao.ufms.br/portal/trabalho-arquivos/download/4824>. Acesso em: jan. 2020.

VIANNA, F. C. **Análise de Ecoeficiência: Avaliação do Desempenho Econômico-Ambiental do Biodiesel e petrodiesel**. Dissertação Mestrado. Escola Politécnica – USP, São Paulo, 2006. 205 p. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-27112006-180855/publico/Analise_de_Ecoeficienica_Avaliacao_do_desempenho_economico.pdf. Acesso em: jul. 2021.

VOTORANTIM. **Relatório Integrado – 2015**. Brasil, 2015. Disponível em: <http://vcimentos.com.br/extras/pdf/relatorio/Relatorio-Integrado-Votorantim-Cimentos-2015.pdf>. Acesso em: jul. 2021.

ZHANG, Y. KANG, J. JIN, H. A Review of Green Building Development in China from the Perspective of Energy Saving. **Energies**. N 11, p.01-18. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en11020334>

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (Capes) – Código de Financiamento 001; e da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS/MEC – Brasil.

COMO CITAR ESTE ARTIGO

MILANI, Ana Paula da Silva; IUNES, Isabela Maria Carvalho. Aspectos ambientais do inventário do ciclo de vida da taipa de pilão. **MIX Sustentável**, v. 9, n. 3, p. 117-130, 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.n3.117-130>>.

SUBMETIDO EM: 10/01/2023

ACEITO EM: 25/03/2023

PUBLICADO EM: 30/07/2023

EDITORES RESPONSÁVEIS: Lisiane Ilha Librelotto e Paulo Cesar Machado Ferroli

Registro da contribuição de autoria:

APSM: Conceituação, Metodologia, Visualização, Escrita - revisão e edição.

IMCI: Conceituação, Análise formal, Investigação, Visualização, Escrita - rascunho original.

Declaração de conflito: nada foi declarado.

A RELEVÂNCIA DA ESTRATÉGIA VENTILAÇÃO NATURAL PARA PAULO AFONSO/BA/BR

THE RELEVANCE OF NATURAL VENTILATION STRATEGY FOR PAULO AFONSO/BA/BR

LA RELEVANCIA DE LA ESTRATEGIA DE VENTILACIÓN NATURAL PARA PAULO AFONSO/BA/BR

ALEXANDRE MÁRCIO TOLEDO, Dr. | UFAL - Universidade Federal de Alagoas
ERIKLIS YURE SILVA LEONEL | UCSAL - Universidade Católica do Salvador

RESUMO

A ventilação natural é recomendada como uma das principais estratégias bioclimáticas para se obter conforto térmico no nordeste do Brasil. O objetivo foi verificar a relevância dessa estratégia para Paulo Afonso/BA/BR. Compararam-se cartas bioclimáticas geradas por dois softwares, com base em dados do INMET, para o ano climático de 2016, com o modelo de conforto térmico adaptativo. A ventilação natural mostrou-se fundamental para um considerável intervalo de horas do dia ao longo do ano, mas em conjunto com outras estratégias. O Analysis Bio apresentou maior proximidade com o preconizado pelas normas ABNT que o Climate Consultant. As estratégias passivas apresentam papel promissor para as condições climáticas da Z7. O ar condicionado não é recomendado como estratégia ativa principal, contrariando as práticas e preferências locais.

PALAVRAS CHAVE

Ventilação natural; carta bioclimática; Paulo Afonso, conforto térmico.

ABSTRACT

Natural ventilation is recommended as one of the main bioclimatic strategies to obtain thermal comfort in north-eastern Brazil. The objective was to verify the relevance of this strategy for Paulo Afonso/BA/BR. Bioclimatic maps generated by two software were compared, based on INMET data, for the 2016 climate year, with the adaptive thermal comfort model. Natural ventilation proved to be fundamental for a considerable range of hours of the day throughout the year, but in conjunction with other strategies. Analysis Bio was closer to what is recommended by ABNT standards than the Climate Consultant. Passive strategies have a promising role for the Z7 weather conditions. Air conditioning is not recommended as a main active strategy, contrary to local practices and preferences.

KEY WORDS

Natural ventilation; bioclimatic charts; Paulo Afonso; thermal comfort.

RESUMEN

La ventilación natural se recomienda como una de las principales estrategias bioclimáticas para obtener confort térmico en el noreste de Brasil. El objetivo fue verificar la relevancia de esta estrategia para Paulo Afonso/BA/BR. Se compararon mapas bioclimáticos generados por dos softwares, con base en datos del INMET, para el año



climático 2016, con el modelo de confort térmico adaptativo. La ventilación natural demostró ser esencial para un rango considerable de horas de luz durante todo el año, pero en conjunto con otras estrategias. Analysis Bio estuvo más cerca de lo recomendado por los estándares ABNT que Climate Consultant. Las estrategias pasivas tienen un papel prometedor para las condiciones climáticas de Z7. No se recomienda el aire acondicionado como estrategia activa principal, contrario a las prácticas y preferencias locales

PALABRAS CLAVE

Ventilación natural; mapa bioclimático; Paulo Afonso, confort térmico.

1. INTRODUÇÃO

A ventilação natural é uma das principais estratégias bioclimáticas recomendadas para edificações de climas quentes e úmidos, de acordo com a NBR 15220-3 (ABNT, 2005). É fundamental ao projetista entender como utilizá-la adequadamente, uma vez que há variáveis a serem consideradas para seu melhor desempenho. Tal conhecimento possibilitará ao profissional entender a forma, direção e momento em que a ventilação natural e as demais estratégias bioclimáticas devem ser usadas como solução para proporcionar conforto térmico aos usuários dos edifícios passivos.

Nos últimos anos, diante da crise energética e da necessidade de se adotar práticas sustentáveis na construção civil, olhando para o cenário ambiental atual, a energia renovável tem se tornado uma importante fonte energética, a exemplo da energia solar e eólica. A opção pela utilização desse tipo de energia minimiza o elevado custo do uso de equipamentos condicionadores de ar, e de fato, esta tem sido uma prática frequente, até mesmo porque em determinadas situações, são a alternativa ativa mais apropriada para altas temperaturas, quando a ventilação natural não é mais recomendada (LAMBERTS et al., 2014).

Essa realidade, por outro lado, não muda a demanda por projetos que disponham de estratégias bioclimáticas, tanto pelo custo da captação das energias renováveis, que ainda é elevado para usuários de renda média e baixa, como pela necessidade que toda edificação possui de ser confortável termicamente e não ser inteiramente dependente de sistemas ativos para a obtenção de conforto térmico.

Embora haja na atualidade uma tendência de adotar soluções da arquitetura internacional, como o uso de peles de vidro em fachadas, mesmo em climas mais quentes, por exemplo, é do conhecimento do profissional de arquitetura a necessidade de adequar o seu projeto às condições exigidas de conforto (GOULART et al., 1998). Para Frota e Schiffer (2001, p.15), "A Arquitetura, como uma de suas funções, deve oferecer condições térmicas compatíveis ao conforto térmico humano no interior dos edifícios, sejam quais forem as condições climáticas externas." Tal afirmação enfatiza a importância de se adequar, durante o processo criativo de projeto, propostas que estejam em conformidade com as condições climáticas de cada localidade.

É durante o processo criativo que esses aspectos devem ser observados, e quando o projetista deve compreender

quais são as barreiras climáticas a serem vencidas na localidade para se obter um projeto termicamente confortável; e posteriormente associar as demandas encontradas às estratégias bioclimáticas mais recomendadas, entendendo detalhadamente até que ponto cada estratégia é viável no cenário em questão.

Durante o estudo mais detalhado das questões climáticas locais é que o projetista perceberá até que momento aquela solução bioclimática escolhida é eficiente, e como ela se adequará ao projeto. Boa parte das respostas podem ser encontradas nas cartas bioclimáticas, que se desenvolveram ao longo do tempo por pesquisadores como Victor Olgyay e Baruch Givoni, sendo essa última aperfeiçoada por Lamberts e Roriz, adaptando-a para diversidade climáticas do Brasil; e também por intermédio das cartas solares e diagramas de rosa dos ventos (TOLEDO, 2001).

No momento em que o profissional se limita a dados climáticos gerais, adotando recomendações sem o devido embasamento, pode estar utilizando em sua proposta uma estratégia pouco eficaz, ou que para o contexto solucione parcialmente o problema de desconforto térmico. Afinal, a ventilação natural é de fato uma alternativa que garante boa eficácia para as condições térmicas nas edificações em muitos casos, mas, principalmente para as Zonas Bioclimáticas 7 (Z7) e 8 (Z8) definidas pela NBR 15220-3 (2005), a qual deve ser utilizada de forma específica, para seu melhor desempenho (PACHECO, 2016).

A motivação principal deste artigo é apresentar uma base concreta de estudos climáticos da cidade de Paulo Afonso/BA que ainda não foi elaborada como em outras cidades, destacando como a estratégia ventilação natural se coloca como uma das opções para possibilitar o conforto térmico aplicada a esse clima. Consequentemente, os resultados devem incentivar o profissional de arquitetura a buscar adequar cada vez mais os seus projetos às condições climáticas locais, compreendendo informações pontuais na utilização da ventilação natural de forma eficaz, e dispondo de dados e informações que conjugada às outras etapas do processo de projeto, certamente irão produzir soluções mais eficientes.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Clima e arquitetura

O Brasil, por possuir uma vasta área territorial, apresenta grande diversidade climática. Todavia, por conta da sua localização geográfica, cortado pela Linha do Equador,

apresenta na maioria do seu território variações de climas quentes (LAMBERTS et al., 2014).

Mendonça (2007, p.16) classifica o clima brasileiro como tropical, e alega que:

“A configuração climática - sua tropicalidade - expressa-se principalmente na considerável luminosidade do céu (insolação) e nas elevadas temperaturas aliadas à pluviosidade (clima quente e úmido), pois o país situa-se em uma das áreas de maior recebimento de energia solar do planeta - a faixa intertropical.”

Esta afirmação reforça a ideia que muitos pesquisadores da área de arquitetura e conforto térmico possuem de instigar o arquiteto e urbanista a procurar idealizar soluções que possam se adequar a essas condições climáticas.

Um bom projeto precisa possibilitar boas condições de conforto térmico. A arquitetura é feita para o homem e deve servir a ele e ao seu conforto (FROTA; SCHIFFER, 2001), ou seja, é fundamental que o usuário possa se sentir confortável termicamente ao utilizar um espaço edificado, cabendo ao profissional idealizar uma arquitetura que venha a reduzir a carga térmica acumulada ao longo dia, pela envolvória, proporcionando condições de conforto térmico, no trópico. Entretanto, por mais que um bom projeto possa oferecer essas condições, a realidade é que os sistemas de ar condicionado são cada vez mais utilizados, e ocupam a posição de uma das maiores fontes de energias utilizadas em regiões tropicais, quando poderiam ser substituídas por outras opções passivas (BITTENCOURT, CÂNDIDO, 2010; COSTA, 2022). Essa parcela de uso do ar condicionado corresponde por volta de 20% na média nacional de consumo de energia em residências, e a tendência nos próximos anos é que esses números aumentem significativamente, o que reforça a ideia de incentivar projetos adequados ao clima, com estratégias conscientes para reduzir a grande demanda energética esperada (LAMBERTS et al., 2014).

Mesmo com dados que provêm o alto consumo, percebe-se que há uma certa despreocupação no uso de energia em uma parcela da população, principalmente às que dispõem de melhores condições econômicas, posto que podem adotar fontes de energia renovável, como a solar. Porém, este comportamento, somado à falta de uma posição por parte do projetista a um conceito bioclimático nos projetos, têm gerado construções que são dependentes de opções ativas para conforto térmico, configurando-se em um erro, ou pelo menos uma desconsideração do bem-estar dos usuários.

Pode-se explicar a existência de projetos desconfortáveis, além do uso de componentes estéticos recomendados para outro tipo de clima, segundo Goulart et al. (1998), também pela falta de direcionamento dos dados meteorológicos para estratégias voltadas para a arquitetura, uma vez que são desenvolvidos para a aviação e agricultura, o que justifica a localização atual das estações meteorológicas e os parâmetros de medição das variáveis climáticas.

2.2 Arquitetura bioclimática

Todavia, por mais que haja, de fato, a falta desse direcionamento nos dados meteorológicos, os estudos referentes à integração da arquitetura e clima são vastos, e atualmente o profissional da área dispõe de normativas vigentes, bancos de dados disponíveis, e uma gama considerável de programas computacionais que podem auxiliar neste processo.

A relação de arquitetura e clima começou, primeiramente com os estudos de Olgyay (1968), que com o conceito de bioclimatologia, aproximou as relações de arquitetura e conforto térmico humano e criou a expressão “Projeto Bioclimático” (OLGYAY, 1973). Prosseguiu em seus estudos e chegou à Carta Bioclimática, que é um diagrama no qual são mapeadas estratégias passivas e ativas e um modelo de condições desejáveis, que é a zona de conforto, porém com os dados ainda voltados para as condições externas. Os estudos avançaram com Givoni, em 1969, que aperfeiçoou algumas limitações encontradas na carta desenvolvida por Olgyay, adaptando-a à carta psicrométrica, desta vez, propondo estratégias construtivas. Em 1992, com um estudo mais avançado, Givoni aperfeiçoou seus resultados e desenvolveu um modelo de carta bioclimática para os países em desenvolvimento, na qual os limites máximos de conforto anteriores foram reconsiderados e expandidos. Posteriormente, este estudo viria a ser considerado (entre o de outros pesquisadores) o mais adequado para as condições brasileiras (LAMBERTS et al., 2014).

Em suma, uma carta bioclimática (Figura 01), marca os dados de umidade e temperatura nas horas ao longo do ano. Por meio desses são apresentadas as estratégias construtivas que são necessárias para alcançar a zona de conforto higrotérmico. Para sua leitura, consideram-se os seguintes parâmetros: temperatura de bulbo seco (TBS) e temperatura de bulbo úmido, medidas em Celsius (°C); umidade relativa (UR), medida em porcentagem (%); e razão da umidade (U), medida em grama por quilograma (g/kg).



Figura 01: Carta Bioclimática adaptada ao Brasil
 Fonte: Lamberts et al. (2016)

A zona de conforto (Figura 2), configura-se na região na qual o ser humano estaria numa condição confortável, isto é, sem necessidade de adoção de estratégias passivas ou ativas.

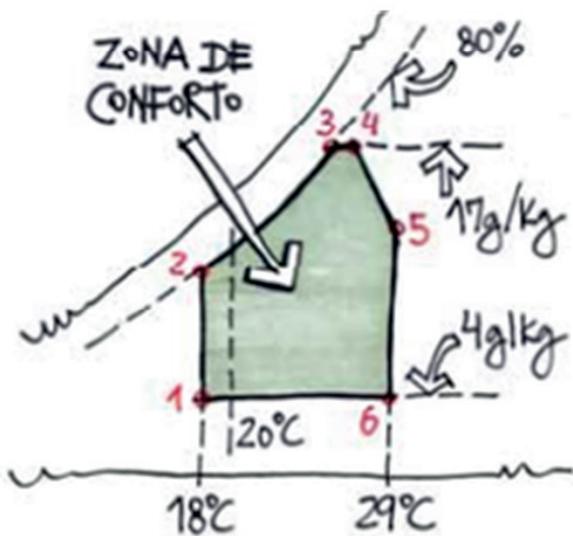


Figura 02: Zona de conforto adaptada ao Brasil.
 Fonte: Lamberts et al. (2016)

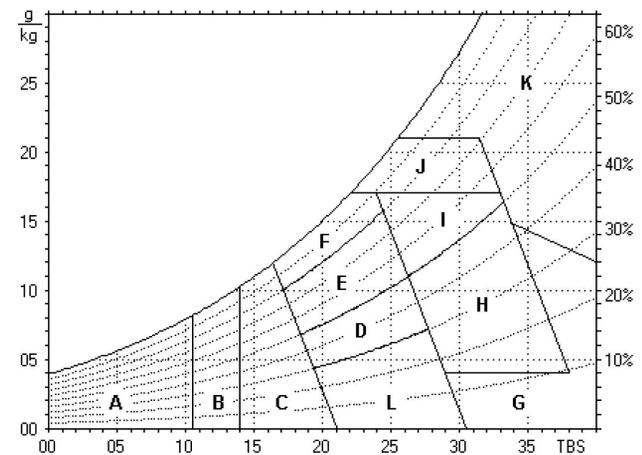
Segundo os parâmetros apresentados, essa zona revela que é possível estar em situação de conforto térmico com uma considerável amplitude na umidade relativa, com valores de 20 a 80%, enquanto no parâmetro de temperatura, o intervalo é entre 18 e 29 °C, considerando que acima de 20 °C, o conforto só é possível quando combinado ao sombreamento (LAMBERTS et al., 2014).

A carta de Givoni (1992), adaptada e utilizada na NBR 15220-3, fundamenta a zona de conforto em 12 subdivisões (Figura 3):

A zona de conforto abrange as zonas D e E (conforto com baixa umidade), com umidade de 30 a 80% e parte da zona L, com umidade de 20% (umidificação).

É importante salientar que os valores e parâmetros encontrados na zona de conforto podem não se adequar para todos os usuários na localidade em estudo, pois os

mesmos possuem suas particularidades e preferências térmicas.



A – Zona de aquecimento artificial (calefação)	G + H – Zona de resfriamento evaporativo
B – Zona de aquecimento solar da edificação	H + I – Zona de massa térmica de refrigeração
C – Zona de massa térmica para aquecimento	I + J – Zona de ventilação
D – Zona de conforto térmico (baixa umidade)	K – Zona de refrigeração artificial
E – Zona de conforto térmico	L – Zona de umidificação do ar
F – Zona de desumidificação (renovação do ar)	

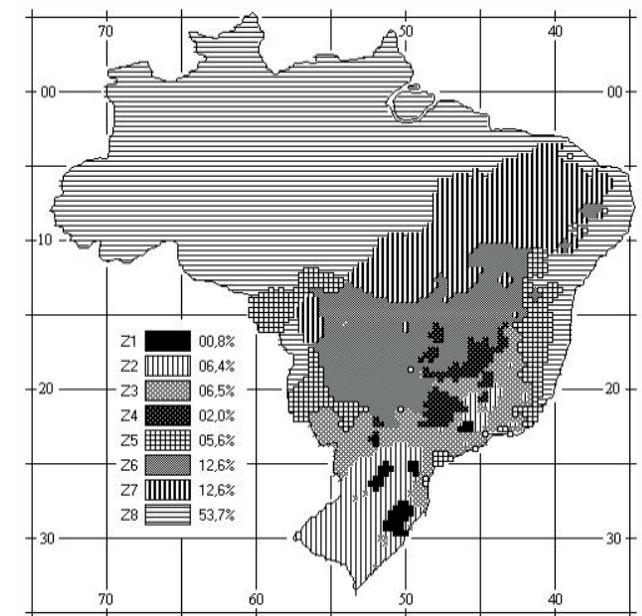


Figura 03: Subdivisões da carta bioclimática e Zoneamento bioclimático brasileiro.
 Fonte: adaptado de NBR 15220-3 (ABNT, 2005)

2.3. Zona de ventilação natural

Acima e ao lado direito da zona de conforto, nas zonas F, J, I e H (Figura 3a), situa-se a zona de ventilação natural. A literatura referente ao conforto ambiental mostra que a ventilação natural, agindo sob uma temperatura excedente aos 32 °C, torna-se indesejada, sendo necessário partir para uma combinação com outra estratégia passiva, ou adotar um recurso ativo, de resfriamento por meio de equipamentos de ar condicionado, por exemplo.

A justificativa para esta afirmativa seria que a utilização desta estratégia em temperaturas altas elevaria o ganho térmico. A região referente à ventilação natural na parte da zona H, atua em conjunto com a estratégia de massa térmica, sendo nesta região limitada pelos valores que excedem 32 °C. (TOLEDO, 2001; LAMBERTS et al., 2014).

É importante salientar que além da finalidade de remoção de carga térmica, a ventilação é também responsável por manter a qualidade do ar nos ambientes e ainda suscitar o resfriamento fisiológico por efeito de convecção (TOLEDO, 2001; PROCEL, 2010).

2.4. Zona sete – quente e úmido

A NBR 15220-3 apresenta um mapa no qual estão marcadas as oito zonas bioclimáticas do Brasil, denominado de Zoneamento Bioclimático Brasileiro (Figura 3b).

O zoneamento agrupa as cidades pelas condições climáticas e soluções arquitetônicas adequadas, apresentando diretrizes construtivas para cada estratégia.

Segundo o Anexo A da NBR 15220-3 (ABNT, 2005), a cidade de Paulo Afonso/BA encontra-se na zona 7, cujas recomendações são: (i) aberturas de ventilação pequenas (desumidificação e ventilação cruzada); (ii) sombreamento das mesmas durante todo o ano; (iii) vedações de parede e cobertura pesadas (também para divisórias internas), para que o calor armazenado durante o dia possa ser liberado ao exterior durante a noite; (iv) resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento (atuando em conjunto); (v) ventilação seletiva nos períodos quentes (quando a temperatura interna for superior à externa). Essas estratégias encontram-se com mais detalhes na carta bioclimática, pela qual podem ser analisadas junto aos dados de umidade e temperatura ao longo do ano, facilitando sua aplicação pontual e servindo de ponto de partida no processo de projeto.

Segundo PROCEL (2014), pertencem à zona bioclimática 7 as cidades de Paratinga (BA), Sobral (CE), Goiás (GO), Caxias (MA), Bom Jesus do Piauí (PI). Zona caracterizada por clima quente, com pouca variação ao longo do ano, cujas estações são definidas como de seca e de chuva.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Realizou-se modelagem de dados climáticos da cidade de Paulo Afonso/BA com dois softwares: Climate Consultant 6.0, desenvolvido pela Society of Building Science Educators (EUA) que auxilia projetistas a entenderem o clima local (SBSE, 2023) e Analysis Bio 2.2, desenvolvido

pelo LABEE/UFSC/BR, que auxilia no processo de adequação de edificações ao clima local (LABEE, 2023), a fim de comparar os resultados gerados e compatibilidade com as normas brasileiras.

O levantamento de dados climáticos foi obtido por meio de um arquivo no formato EPW (Energy Plus Weather Data), retirado do banco de dados do INMET para o ano de 2016 (disponibilizado pelo LABEE-UFSC). Por meio desses softwares, geraram-se as cartas bioclimáticas para as 8.760 horas do ano; identificando-se as divergências na leitura dos valores de cada carta; relacionando as estratégias encontradas e suas recomendações, com base nas condições climáticas, junto às porcentagens de eficiência; possíveis combinações de solução para diferentes resultados; além de outras informações climáticas.

Para obtenção dos diagramas bioclimáticos, foram necessárias algumas ações em cada um dos softwares: no Climate Consultant, alterou-se a unidade de medida de “imperial” para “metric”, facilitando também outras leituras na diagramação, como a troca das escalas termométricas de Fahrenheit para Celsius, nas linhas de temperatura de bulbo seco e úmido; no Analysis Bio, a carta foi gerada com base em um arquivo no formato CSV (Comma Separated Values), que foi obtido por meio de uma importação dos dados lidos no Climate Consultant. Este arquivo foi importado para o Analysis Bio e ajustado o valor da altitude para a correta leitura do arquivo CSV pelo programa.

As informações levantadas foram somadas às do banco de dados do satélite MERRA-2, da NASA, em normas climatológicas coletadas em um intervalo histórico de 30 anos, conforme recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM).

Os dados coletados na abordagem climática da pesquisa são apresentados em tabelas com médias dos horários em que a ventilação natural pode ser utilizada nos meses do ano, e as restrições e recomendações de uso, bem como quais as outras estratégias devem ser utilizadas em conjunto para que haja uma melhor eficiência.

3.1 Breve histórico da área de estudo

O município de Paulo Afonso localiza-se na região nordeste do estado da Bahia, e faz fronteira com os estados de Alagoas e Sergipe (Figura 4). Possui 1.544,388 m² de extensão territorial e 119.213 habitantes, conforme último censo demográfico (IBGE, 2021). É banhado pelo rio São Francisco, e conseqüentemente, conhecido por “Ilha de Paulo Afonso”.

Recebeu este nome por ser anteriormente posse (cedida pelos portugueses) de Paulo de Viveiros Afonso, que havia enxergado grande potencial hídrico nas cachoeiras que o território possui. A força da água, atraiu em 1948, a Companhia Hidrelétrica do Rio São Francisco (CHESF), proporcionando o crescimento da cidade circundando as instalações da usina (LIMA, 2017; SILVA, 2014; PMPA, 2014).

Durante seu desenvolvimento, chegou a ser dividida em muros que separavam a cidade entre a CHESF e a Vila Poty, onde habitavam os operários, o que causou grande segregação social. Após uma valorosa luta de manifestantes locais, a cidade tornou-se unificada e se desenvolveu até os dias atuais por um único caminho (SILVA, 2019).



Figura 04: Localização de Paulo Afonso.
Fonte: adaptado de IBGE (2021).

3.2 Dados climáticos locais

O município de Paulo Afonso está localizado geograficamente a uma latitude de - 9,41, longitude de -38,23 e altitude de 243 metros, segundo dados do INMET (2016).

Utilizaram-se os dados climáticos da Normal Climatológica do INMET, referente ao intervalo de 1981 a 2010 período em que os últimos levantamentos da estação convencional meteorológica de Paulo Afonso foram coletados (Tabela 1). Característico do tipo climático BWh, ou seja, clima árido (COSTA; FUCALE, 2022).

MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
TEMP. MÁX (°C)	34,4	34,3	33,7	32,5	30,7	38,5	27,1	29,1	31,7	33,8	34,8	34,6
TEMP. MÉDIA (°C)	28	28	27,8	26,9	25,5	23,7	22,9	23,3	25,1	26,8	27,8	28
TEMP. MÍNIMA (°C)	23,1	23,2	23,2	22,8	21,9	20,5	19,5	19,4	20,3	21,6	22,5	22,8
INSOLA. (HORAS)	256	232	236	223	195	151	168	194	237	292	238	267
UMID. RELAT. (%)	58,7	59,6	63,2	67,7	73,4	78,7	77,7	72,7	63,6	58,9	56,1	57,1
P. ATM. (HPA)	982	982	982	983	984	986	987	987	986	984	982	982
PRECIPIT. (mm)	49,2	38,3	76,8	75,3	54,2	62,6	49,3	29	11,7	17,1	19,5	30
DIR. VENTOS	SE	SE	E	SE								
VEL. V. (m/s)	3,5	3,4	3,1	3,2	3,1	3,2	3,4	3,7	4,2	4,1	3,9	3,5

Tabela 01: Variáveis Climáticas de Paulo Afonso.
Fonte: adaptado do INMET (1981 - 2010).

Com base nesses dados, nota-se que, embora esteja localizada na região do semiárido brasileiro, a cidade de Paulo Afonso possui valores de umidade relativa média em faixas próximas de 60 a 80%, que podem ser justificadas pelas massas de água represadas do rio São Francisco, que abrangem a área perimetral da cidade, e da considerável quantidade de arborização, original e replantada, proporcionando um microclima diferenciado, mesmo em uma região onde os municípios sofrem com a seca e as altas temperaturas.

Quanto à precipitação, tem-se os meses de setembro, outubro e novembro como os mais secos; e março, abril e junho como os mais chuvosos – valores que não caracterizam um clima chuvoso, mas quente com poucas chuvas. A direção predominante dos ventos é a Sudeste, com exceção do mês de março, com ventos direcionados para o Leste, não havendo variação de sentido durante a noite.

Os valores referentes à temperatura, mostram que ao longo do ano a predominância é de temperaturas mais altas. Entretanto, por serem valores médios, para um entendimento mais aprofundado, foram utilizados também dados em outros bancos disponíveis, como o Gráfico 1, que apresenta uma média horária coletada em um modelo no período de 1º de janeiro de 1980 a 31 de dezembro de 2016, com dados retirados do satélite MERRA-2, da NASA.

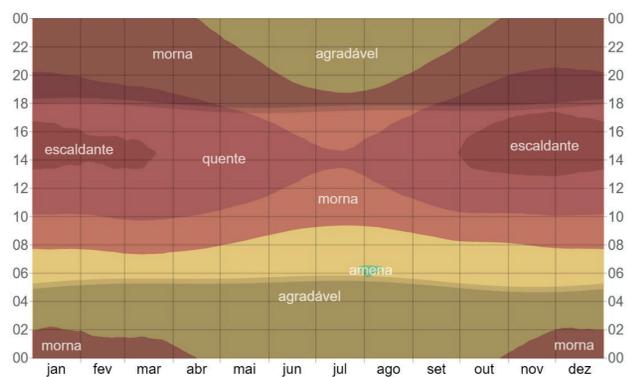


Gráfico 01: Temperatura média horária em Paulo Afonso.
Fonte: Wheaders-park, Merra-2 (2016).

Este gráfico aponta de forma mais clara alguns aspectos: os horários mais quentes ao longo do ano são das 12 às 18 horas; o semestre que abrange os meses de outubro a março são os mais quentes, sendo novembro, o principal, apresentando temperaturas acima de 35 °C (consideradas como escaldantes), em maior parte dos horários do dia, conforme também confirmado pelos dados da Tabela 1. Por outro lado, no período do inverno, no qual as temperaturas são menos elevadas, o mês mais ameno é julho, cujas temperaturas variam numa média de 18 a 30 °C, ao longo do dia.

Essas informações, baseadas em bancos de dados meteorológicos, são fundamentais para o entendimento das cartas bioclimáticas.

4. RESULTADOS DA MODELAGEM

A modelagem bioclimática busca diagnosticar os efeitos que cada estratégia possui no clima estudado. Desta forma, por meio dos dados climáticos coletados, puderam ser destacados os momentos mais adequados do dia para a utilização da estratégia ventilação natural, bem como recomendações de utilização, apresentando-a como ferramenta de estudo para o profissional desenvolver projetos confortáveis aos usuários.

Além da ventilação natural, outras estratégias passivas também são recomendadas para serem utilizadas em conjunto, com destaque para o sombreamento, o qual deve ser utilizado para temperaturas acima de 20 °C.

4.1 Carta bioclimática – Climate Consultant

A modelagem dos dados climáticos pelo software Climate Consultant 6.0 (Figura 4) gerou a carta psicrométrica para Paulo Afonso, a qual apresenta uma lista com todas as estratégias e sua importância expressa em porcentagens. São 16 estratégias de projeto (design strategies) no total, contando com a zona de conforto, sendo que algumas delas são subdivisões de outras.

Para melhor entendimento, é fundamental a compreensão de que em alguns casos, uma zona coincidirá com outra, indicando que naquela delimitação as duas estratégias devem ser utilizadas em conjunto.

Como primeiro ponto de análise voltado às estratégias, destaca-se a número 2 (sun shading of windows - proteção solar das janelas). Este recurso não se posiciona como uma região demarcada nos pontos da carta bioclimática, porém mostra-se um indicativo recomendando sua utilização desde o início da zona de conforto (20 °C). Pelas altas temperaturas encontradas no Brasil, é um recurso altamente recomendado. O sombreamento das aberturas, corresponde a 31,3% de importância para obtenção do conforto térmico para a cidade de Paulo Afonso e deve ser utilizado em combinação com praticamente todos os outros recursos passivos.

Percebe-se que há uma diferença no formato das zonas de conforto, ventilação natural e nos valores que as compõem nesse software em comparação aos apresentados na NBR 15220-3 (Figura 2a). Na zona de conforto, há uma diferença que restringiu os valores de temperatura e os classificou como aceitáveis apenas entre 20 a 24 °C. Por este motivo, a quantidade de horas localizadas nesta zona corresponde a apenas aproximadamente três por cento (253 horas), ou seja, no Climate, em 97% das horas do ano, em Paulo Afonso, é necessário a existência de estratégias bioclimáticas passivas ou ativas que possam fornecer condições necessárias para se obter conforto térmico.

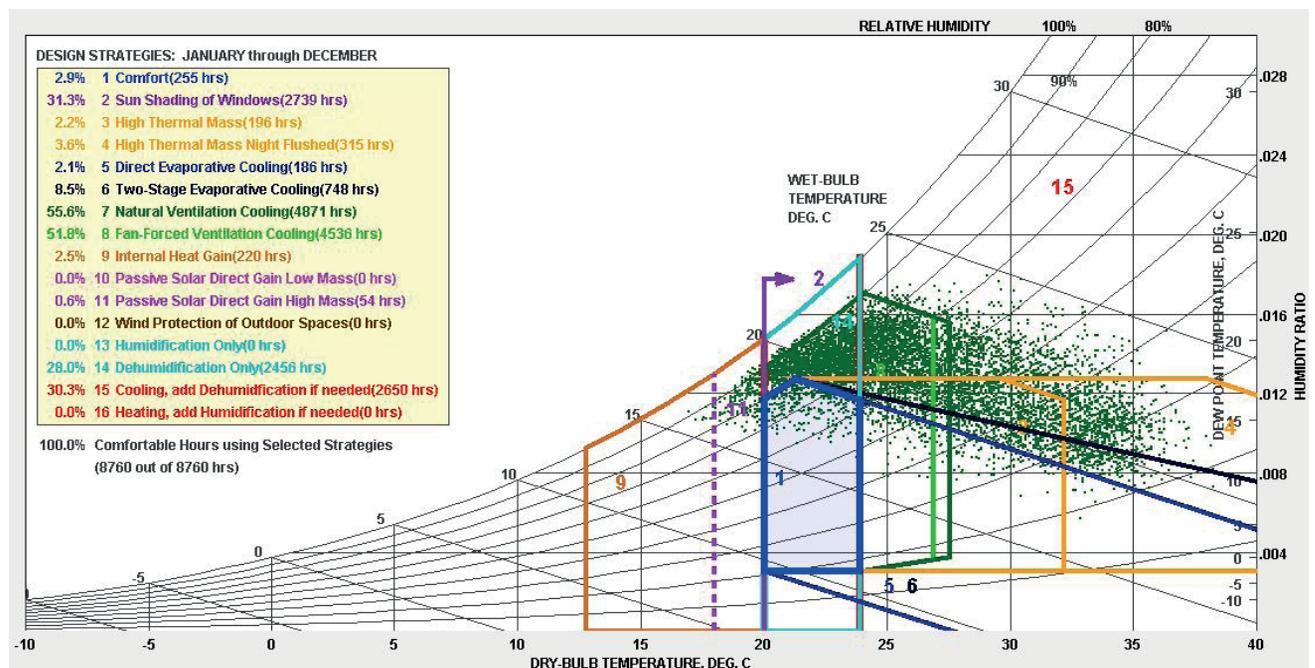


Figura 04: Carta bioclimática de Paulo Afonso – Climate Consultant 6.0.
Fonte: software Climate Consultant 6.0 (2016).

Já na zona de ventilação natural, os valores de tolerância para sua utilização foram reduzidos (nas temperaturas superiores ao limiar da zona de conforto) ao intervalo de 25 a 27 °C, aproximadamente. Esses dados indicam que apenas no período de inverno as condições climáticas são favoráveis. Esse período é o de maior umidade e o mais chuvoso, podendo ser localizado facilmente na carta. Observa-se que esses valores, considerando a zona de conforto, mostram que (em média) apenas no intervalo horário das 22 às 9 horas, nos meses mais quentes do ano, é recomendado a sua utilização, ou seja, em dez horas do dia (na maior parte do ano), há a recomendação do uso ventilação natural, enquanto no restante das 14 horas, sua utilização não é eficiente.

Vale salientar que apesar de apresentar temperaturas altas ao longo do ano, Paulo Afonso tem horas de desconforto térmico também pelo frio, cuja recomendação para esta situação encontra-se na zona 9, referente ao ganho de calor interno, provavelmente nos meses de junho e agosto, nos quais as temperaturas chegam a ficar abaixo dos 20 °C.

Os pontos que marcam o diagrama percorrem com maior frequência na região de umidade com valores na faixa de 60% a 90%, que são números em conformidade com os dados apresentados na Tabela 1. A zona de ventilação natural, é presente em boa parte desta região, e conforme visto na NBR 15220-3 (ABNT, 2005), classifica-se, de início, como uma solução indicada para desumidificar, entendendo que um valor alto de umidade também pode trazer desconforto, e que os ventos podem atuar na troca desse ar úmido acumulado.

O Climate traz uma interessante separação incluindo a estratégia de número 14 (Dehumidification only - somente desumidificação). Essa, seria uma das zonas que fazem parte da subdivisão dos limites que envolvem a ventilação natural. A redução na delimitação da zona de ventilação, ocasionou que alguns pontos marcados na carta ultrapassassem esses limites, e fossem alcançados singularmente pela zona de desumidificação, com pontos marcados acima de (aproximadamente) 88% de umidade.

Cabem duas considerações: primeiro que há um valor de 2,1% nesta zona que não é considerado como combinação à estratégia ventilação natural; e segundo que o valor referente para a utilização da ventilação natural, agindo sem a função de desumidificar será a diferença do seu valor total na carta, 55,6% das horas do ano (o que corresponde a 4.870 horas) subtraído do valor da zona de desumidificação (13), incluindo sua combinação junto à alta inércia térmica e o resfriamento evaporativo (zonas

3, 4 e 6, respectivamente) o que daria um resultado de 2.596,46 horas de conforto térmico por meio dessa solução, um total de 29,64%. Pode-se, então, entender a ação da ventilação natural como recurso bioclimático para Paulo Afonso, segundo a carta psicrométrica gerada no Climate da seguinte forma (Tabela 2):

ESTRATÉGIA	EFICÁCIA
DESUMIDIFICAÇÃO	26% (28,1% - 2,1%)
+ ALTA INÉRCIA + RESF. EVAPORATIVO	29,64%
TOTAL	55,6%

Tabela 02: Recomendação da ventilação natural para Paulo Afonso – Climate Consultant 6.0.

Fonte: adaptado do software Climate Consultant 6.0 (2016).

Observa-se que a estratégia passiva com valores considerados eficientes para as condições climáticas de Paulo Afonso é de fato a ventilação natural, ressaltando que para essa estratégia possuir maior eficácia, torna-se fundamental que venha a atuar com as outras citadas acima (inclusive com o sombreamento), para sua melhor eficiência. Apesar de possuir uma boa quantidade de horas de recomendação, nos parâmetros da carta em estudo, essa estratégia não é tão útil para as altas temperaturas que são frequentes ao longo do ano. A ventilação natural, portanto, nesse caso é insuficiente, havendo a necessidade de desconsiderar o seu uso, principalmente nos meses de setembro a março, e apostar em uma estratégia ativa de resfriamento.

Esses dados apontam que nas horas em que as temperaturas estão acima do campo de ventilação natural, 27 °C, e, em conjunto, a umidade relativa estiver abaixo de 60%, nos meses de outubro a fevereiro, as estratégias mais recomendadas são a alta inércia térmica dos materiais e o resfriamento evaporativo, condizente às zonas 3 e 4 (duas zonas referentes à alta inércia), e 6, respectivamente.

As duas primeiras, segundo os valores da tabela, responderam a 2.3% e 3.6% das horas de conforto, curiosamente um valor desproporcional em relação à sua área ocupada na carta. Para entender esses resultados baixos de porcentagem mesmo com tantos pontos marcados em suas delimitações, é preciso compreender que a zona de ar condicionado (15), engloba todos os pontos (horas ao longo do ano) a partir de 24 °C. Entende-se, então, que para essa análise, utilizar materiais com alta massa térmica seria insuficiente para conduzir uma edificação às condições de conforto.

Já o resfriamento evaporativo corresponde fielmente às condições apresentadas, e se apresenta como uma

ZONAS:

1. Conforto
2. Ventilação
3. Resfriamento Evaporativo
4. Alta Inércia Térmica p/ Resfr.
5. Ar Condicionado
6. Umidificação
7. Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar
8. Aquecimento Solar Passivo
9. Aquecimento Artificial
10. Ventilação/Alta Inércia
11. Vent./Alta Inércia/Resf. Evap.
12. Alta Inércia/Resf. Evap.

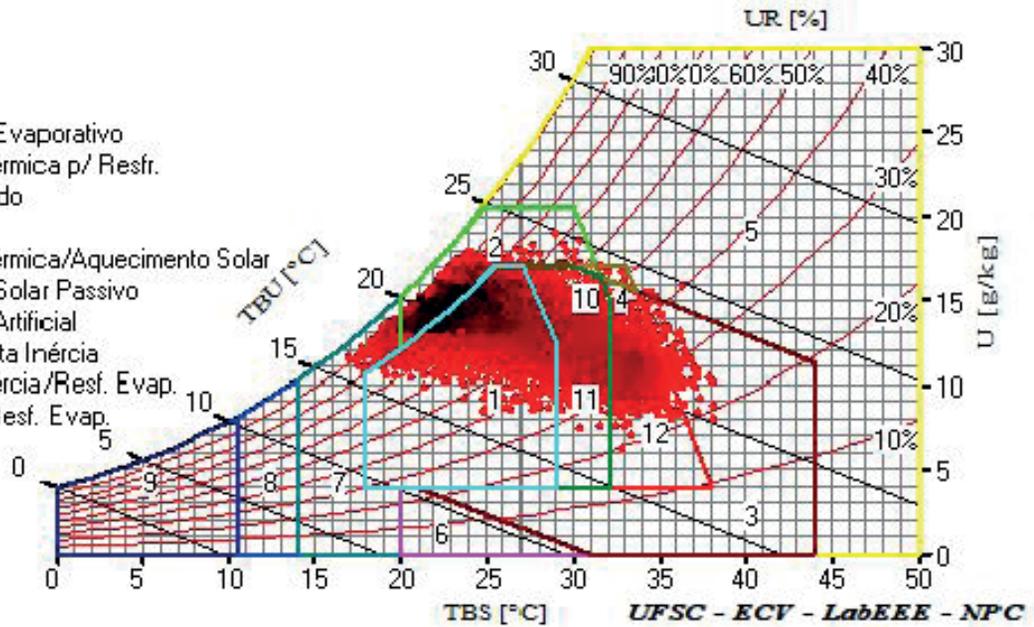


Figura 05: Carta Bioclimática de Paulo Afonso - Analysis Bio 2.2.
Fonte: Software Analysis Bio 2.2 (2016).

opção para umidades relativas baixas com altas temperaturas, embora essas condições sejam consideravelmente menos frequentes.

Por conta da zona de ar condicionado dessa carta ser recomendada mesmo em temperaturas consideradas baixas para uma análise no Brasil, sua utilização torna-se indicada para 30,4% das horas do ano (2.661 horas), o que enfraquece, para esta leitura, a eficácia dos outros recursos passivos recomendados para essa região. Observa-se, então, que a zona de ar condicionado, ao lado da zona de ventilação natural, são as zonas que de fato são relevantes para os critérios adotados, contribuindo em soma para 92,5% das horas do ano como uma solução para obtenção de conforto térmico, ocasionado pelo calor.

Verifica-se certa rigidez no critério adotado, comprovando que os parâmetros utilizados para esta carta não foram compostos para países tropicais como o Brasil, mas para climas temperados, com estações bem definidas e temperaturas mais amenas.

Assim sendo, a análise do Climate Consultant 6.0 considera que as estratégias bioclimáticas só serão suficientes até 24 °C, tendo o resfriamento evaporativo com uma pequena parcela em temperaturas maiores. Considerando que as temperaturas são altas em Paulo Afonso, destaca-se que a eficiência é baixa para a maioria das soluções passivas, sendo a ventilação natural a que possui maior recomendação junto ao sombreamento (que não possui zona demarcada na carta). Este período em que a

ZONAS	EFICÁCIA
1 - CONFORTO	45,7%
2 - VENTILAÇÃO NATURAL	22,3%
3 - RESFRIAMENTO EVAPORATIVO	1,04%
4 - ALTA INÉRCIA TÉRMICA	0,11%
5 - AR CONDICIONADO	0,068%
7 - ALTA INÉRCIA/ AQUECIMENTO SOLAR	2,23%
10 - VENTILAÇÃO/ALTA INÉRCIA	0,01%
11 - VENTILAÇÃO/ ALTA INÉRCIA/ RESFRIAMENTO EVAPORATIVO	16,6%
12 - ALTA INÉRCIA/ RESFRIAMENTO EVAPORATIVO	11,9%
TOTAL	100%
SOMBREAMENTO	97,5%

Tabela 03: Zonas/Porcentagens - Analysis Bio 2.2
Fonte: adaptado do software Analysis Bio 2.2 (2016).

ventilação natural é apropriada, em condições climáticas amenas, realidade pouco frequente culturalmente e regionalmente falando, não é um dado expressivamente relevante, uma vez que se trata de um período classificado como confortável para os habitantes de Paulo Afonso, até mesmo sem sua utilização, permanecendo, assim, os dias quentes sem recomendações passivas que apresentem eficiência considerável.

4.2. Carta bioclimática – Analysis Bio 2.2

A modelagem realizada no software Analysis Bio 2.2 apresenta a carta bioclimática com 12 estratégias a serem usadas (três a menos que o Climate), e disponibiliza outras opções para diferentes simulações por períodos de meses, dias, horas, estações do ano, além do fornecimento de médias em períodos selecionados, gerando diferentes

possibilidades de análises.

A carta bioclimática gerada pelo Analysis Bio 2.2 (Figura 5) possui uma forma mais alargada, justificada pelos gráficos de temperatura e umidade portarem tolerância maior, que é o mais apropriado para análises nas cidades brasileiras.

Além do alargamento da carta, tem-se a adequação na zona de conforto e ventilação natural. As delimitações destas zonas seguem o modelo da NBR 15220-3 (ABNT, 2005).

As porcentagens das principais estratégias bioclimáticas obtidas pelo Analysis Bio demonstram que a estratégia sombreamento é bastante recomendada e outras estratégias se associam à ventilação natural, como alta inércia e resfriamento evaporativo (Tabela 3).

Fora das delimitações das zonas, tem-se a estratégia de sombreamento, que não aparece na carta bioclimática gerada pelo Analysis Bio, mas que por estar incluída como combinação para todas as outras que estão a uma temperatura acima de 20 °C, alcança uma porcentagem de recomendação de 97,5%, comprovando que há uma valorização maior das estratégias passivas (para entendimento deste dado, é fundamental lembrar que o Climate tolerava menos as altas temperaturas, e emprega a necessidade de equipamentos condicionadores para todas as situações em que os valores de temperatura ultrapassaram 24 °C), e que para todas as estratégias voltadas para o conforto térmico causado pelo calor, existe a necessidade de sombrear as aberturas. A porcentagem restante, de 2,5%, é referente ao desconforto causado pelo frio, nos meses de julho e agosto, quando as temperaturas são menores, e não há a necessidade de sombrear.

A zona de conforto, nitidamente, possui uma tolerância maior, agrupando as temperaturas de 18 a 29 °C. Essa

ESTRATÉGIA	EFICIÊNCIA
DESUMIDIFICAÇÃO E CONVECÇÃO	22,3%
+ ALTA INÉRCIA	0,01%
+ RESFRIAMENTO EVAPORATIVO/ALTA INÉRCIA	16,6%
TOTAL	38,9%

Tabela 4: Recomendação da ventilação natural para Paulo Afonso – Analysis Bio 2.2
Fonte: adaptado do software Analysis Bio 2.2 (2016).

mudança causou diferença significativa na quantidade de dias com boas condições de conforto. A zona de conforto abrange 45,7% das horas do ano. Os 54,3% que restaram, são referentes ao tempo de desconforto pelo calor (52%), e pelo frio (2,3%).

As horas presentes na zona de conforto também

fazem parte, em sua maioria, do período mais amenos do ano, correspondendo aos horários das 20 horas às 10 horas (análise em paralelo ao Gráfico 1), em média, para o período mais quente, ao longo do ano. Pontua-se, então, com esses dados que em todo o período da noite e da manhã, ao longo do período quente do ano, em 14 horas do dia, em média, há a necessidade da utilização apenas do sombreamento (pela manhã), sendo desnecessária a utilização das demais estratégias para obtenção de conforto térmico, segundo os parâmetros de conforto da modelagem, tendo o período de maio a setembro com tolerâncias ainda maiores. Por outro lado, tem-se 10 horas de desconforto, alertando a necessidade da utilização de estratégias bioclimáticas para adequar às condições de conforto recomendadas.

A estratégia de ventilação natural apresenta-se, dentre as outras marcadas na carta, como a de maior eficácia (o sombreamento é impreterivelmente recomendado, como fora visto, mas não é indicado como uma zona na carta). Para os parâmetros climáticos de Paulo Afonso, ela atinge uma boa média, uma vez que está diante de uma tolerância mais apropriada para a realidade climática local (Tabela 4).

O Analysis Bio 2.2 não separa as funções de ventilação natural da desumidificação, o que impossibilita uma análise comparativa idêntica à do Climate e justifica a ausência na tabela acima. Por conta dessa situação, houve um valor maior a ser considerado para a ventilação sem função de desumidificação, que seria o parâmetro ideal, mas que não pôde ser constatado para a tabela, uma vez que nessa modelagem toda a zona 2 foi considerada unicamente para ventilação, sem subdivisões. Por outro lado, comparando essa modelagem com o modelo da carta bioclimática adotada para o Brasil (Figura 2a), percebe-se que a zona referente à combinação das estratégias de ventilação natural, alta inércia térmica e resfriamento evaporativo (zonas 10 e 11), faz parte da delimitação em que a estratégia ventilação natural é utilizada sem função de desumidificação, mas com a combinação de outras estratégias, significativamente um dado considerado desaproprado no Climate, em função da alta valorização das estratégias ativas de resfriamento e desvalorização das passivas em valores de temperatura superiores a 24 °C.

O formato apresentado da zona de ventilação natural torna-se significativamente mais favorável para o clima em questão, mesmo tendo uma porcentagem menor, já que está presente em condições consideradas mais desconfortáveis. Portanto, para as temperaturas que ultrapassam a zona de conforto, a ventilação natural (indicada para

o intervalo de 29 a 32 °C) deve ser utilizada em conjunto com o resfriamento evaporativo e alta inércia térmica. As delimitações que compõem essas zonas, se somadas com a zona de conforto proporcionam um valor total de 84,6%, o que dá um indicativo de que a edificação que dispor de boas soluções arquitetônicas, pensadas a proporcionar um bom escoamento de ventilação natural, por seus ambientes internos, em conjunto com as outras estratégias, estará em condições de conforto na maior parte das horas do ano. Esse dado permite classificar essa estratégia como fundamental para uma edificação termicamente confortável, segundo os parâmetros da modelagem, que está em conformidade com a NBR 15220-3 (ABNT, 2005).

Após a temperatura exceder os 32 °C, num período que equivale a 13,05% das horas do ano (valor encontrado no somatório das estratégias 3, 4, e 12), isto é 1.143,18 horas, o correspondente ao restante do período em desconforto térmico pelo calor, a ventilação natural deve ser evitada, conforme pontuado no diagrama gerado pelo Analysis Bio (que também neste aspecto está em divergência com o Climate). A partir destes valores, deve-se optar pelas estratégias bioclimáticas 3, 4 e 12, sendo essa última, a alta inércia térmica em conjunto com o resfriamento evaporativo, a mais eficaz.

Vale salientar que com a leitura e análise dos dados da norma e do modelo de carta bioclimática apresentado por Lamberts et. al (2014) (Figura 1), entende-se que apesar dessas zonas se apresentarem em conjunto, há o claro entendimento que o peso maior seria destinado à ventilação natural, tendo as demais soluções funcionando como reforço para um resultado melhor da sua atuação, uma vez que já estaria próximo das zonas em que essas outras estratégias atuam isoladamente.

Os resultados referentes à ventilação natural mostram que seu uso é contraindicado apenas no período das 12 às 18 horas, em média, no qual as temperaturas são consideravelmente altas. Portanto, as manhãs e noites, com a utilização correta da ventilação natural (em conjunto com outras estratégias), apresentam, de acordo com essa modelagem, uma temperatura interna confortável, sem necessidade da utilização de ar condicionado.

O restante das horas de desconforto térmico ocasionado pelo calor é cumprido pela estratégia ativa de resfriamento artificial (número 5), que corresponde a apenas aproximadamente 0,07%, o equivalente a seis horas ao longo de todo o ano, um valor que pode ser desconsiderado, sem maiores preocupações.

Por outro lado, os pontos que marcam o desconforto térmico ocasionado pelo frio estão presentes na zona 7, denominada de alta inércia térmica/aquecimento solar, que equivalem a apenas 2,23% do ano, ou seja, aproximadamente 195 horas do ano. Situação claramente indicada para o inverno, quando também não haveria a necessidade de sombreamento.

Por conta dos valores apresentados, e da necessidade de se adotar um estilo de arquitetura adequado à bioclimatologia, os valores referentes ao desconforto pelo frio, tanto nesta modelagem quanto na anterior não possuem peso suficiente para serem considerados durante o processo de concepção do projeto, a menos que seja de interesse do usuário, mas para as condições climáticas que foram levantadas, não há valores relevantes que mostrem que seja imprescindível ter tal preocupação a interferir em uma decisão projetual, podendo ser tranquilamente desconsiderada.

4.3. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

A carta bioclimática gerada pelo Climate Consultant 6.0 apresentou subdivisão em algumas estratégias que facilitaram a compreensão das zonas, dado que a leitura apressada pode trazer alguns entendimentos equivocados, levando à generalização da utilização da estratégia ventilação natural e ocasionando o uso incorreto ou insuficiente da mesma.

A interface, expondo a porcentagem de eficiência para cada estratégia, proporciona conclusões rápidas e permite que haja a seleção de estratégias isoladamente, fornecendo o valor das mesmas em conjunto, possibilitando a avaliação de sua importância. Apesar disso, a leitura e os limites das zonas não estão de acordo com os parâmetros da NBR 15220-3 (ABNT, 2005), com mudanças

VENTILAÇÃO NATURAL (20 - 27 °C)	MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
	INTERVALO	22 9	22 9	21h30 9	21h30 9	19 9h30	18 11	17h30 11h30	18 11	20 9	22 9	22 9	22 9
HORAS	11	11	11h30	11h30	14h30	17	18	17	13	11	11	11	10h30

Tabela 05: Horário para a utilização da estratégia ventilação natural (Climate Consultant 6.0).
Fonte: adaptado do software Climate Consultant 6.0 e satélite MERRA-2 (2016).

significativas na zona de conforto e na zona de ventilação natural - estratégias bioclimáticas em evidência para a Z7 - resultando em divergências na sua análise. Sendo assim, não obstante, as interessantes análises geradas por essa modelagem, claramente não interpretam corretamente as condições climáticas brasileiras, sendo extremista em pontos de alta relevância, como por exemplo, a utilização do ar condicionado para temperaturas acima de 24 °C, que invalidaria as demais estratégias bioclimáticas passivas, classificando-as como insuficientes, mesmo que em algumas situações pudessem de fato ser eficientes.

Com base nos parâmetros apresentados, fundamentados em conjunto aos valores fornecidos pelo Gráfico 1, os horários viáveis para utilização da ventilação natural puderam ser demarcados (Tabela 5). Por se tratar de uma leitura em gráfico, o intervalo horário é dado por números aproximados, coletados por meio de uma leitura de aproximação, sem alta precisão, mas o suficiente para possibilitar a análise e exibir uma base para compreender os horários viáveis para a utilização da ventilação natural em cada mês do ano. A contagem dos intervalos começa pela noite até o horário limiar pela manhã ou tarde, para facilitar a análise e evitar interrupções.

Cabe ressaltar que para o mês de julho, segundo o Gráfico 1, no horário referente às seis horas, há uma queda na temperatura, no qual os valores seriam classificados como fora da zona de conforto. Porém, como corresponde a um pequeno período (minutos aproximadamente), foi desconsiderado para essa análise.

Os dados mostram que as condições de utilização da ventilação natural estão restritas ao período da noite até a manhã, na maior parte do ano, destacando que o inverno apresenta intervalos maiores. Por esses dados, gerados pela carta bioclimática, não haveria soluções passivas com grande eficiência para os períodos quentes, o que seria uma situação de complexidade para habitações de classes econômicas média e baixa.

Esses valores são justificados por conta do software Climate Consultant ser adequado para as condições climáticas de países temperados, mas apesar de divergir com o cenário do Brasil, é interessante o entendimento de que as condições de bem-estar do ser humano podem variar

por meio de vários parâmetros, sendo improvável que haja uma unanimidade para os valores da zona de conforto em todo o mundo, e que de fato há a necessidade de adequações para as condições locais.

Já a modelagem gerada pelo Analysis Bio 2.2 apresenta adequações necessárias ao clima do Brasil, proporcionando uma leitura mais realista. Os relatórios por ele fornecidos permitem realizar comparações diretas com o Climate Consultant, todavia, a ausência da subdivisão de desumidificação na zona de ventilação restringiu algumas conclusões.

A carta bioclimática do Analysis segue os parâmetros da norma brasileira e em consequência disso, apresenta uma zona de conforto mais adequada ao trópico, agrupando uma maior quantidade de dias, com temperaturas até 29 °C.

A ventilação natural possui função bioclimática fundamental até 32 °C, ampliando consideravelmente o limite máximo de temperatura. Nessa situação, os horários em que a ventilação natural é recomendada são consideravelmente reformulados e ampliados, com destaque para os meses de maio a agosto, quando essa estratégia é indicada para todas as horas do dia (Tabela 6), com percepção de morna e quente, durante o dia, e agradável ou amena, durante a noite e madrugada

Os valores da tabela mostram que apesar da ventilação natural não ser suficiente para todo os horários do ano, como fora visto na carta, pode-se classificá-la como de suma importância, recomendada para a maior parte do dia, sendo inadequada nos períodos após o meio-dia até o fim da tarde (aproximadamente 18 horas). Nos meses de maio a agosto, a ventilação é capaz de solucionar integralmente o desconforto térmico causado pelo calor, já que as temperaturas são mais amenas.

O dado de maior relevância e divergência entre as duas simulações está na zona de ar condicionado para a obtenção de conforto térmico: O Climate supervaloriza essa estratégia, enquanto o Analysis Bio a classifica com um valor significativamente baixo, que poderia até mesmo ser desconsiderado para os parâmetros de conforto em estudo.

É importante reforçar que para cada pessoa, os requisitos de bem-estar térmico podem ser diferentes, porém é

VENTILAÇÃO NATURAL (20 - 32 °C)	MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
	INTERVALO	18	17h30	17	16	0	0	0	0	17	18	19	19
	HORAS	12	12	12	12	24	24	24	24	12	12	12	12

Tabela 06: Horários para a utilização da estratégia ventilação natural (Analysis Bio 2.2).
Fonte: adaptado do software Analysis Bio 2.2 e satélite MERRA-2 (2022).

inegável que números como esses são animadores, dado que na primeira modelagem, com o Climate Consultant, havia certa desconsideração pelos recursos passivos.

Esses valores ressaltam outra vez a importância do arquiteto e urbanista ter conhecimento dos dados climáticos locais, podendo propor projetos que proporcionará a possibilidade do morador usufruir de uma residência com bons parâmetros de conforto térmico, independentemente da classe social, desmistificando a crença de que o ar condicionado é a única solução para conforto térmico em climas mais quentes.

5. CONCLUSÃO

O estudo realizado por meio da comparação das modelagens climáticas com os programas Climate Consultant e Analysis Bio permitiu a desmistificação e entendimento melhor da importância da ventilação natural para a cidade de Paulo Afonso/BA. As divergências entre elas apresentaram informações importantes que alcançaram o objetivo de verificar sua importância para o clima local, e apresentar a diversidade de dados que comprovam esses fatos e os direcionam.

O programa Climate Consultant, apesar de apresentar uma carta bioclimática com um zoneamento mais subdividido, gerando análises diversas, não demonstrou consonância com as normas brasileiras, para as condições climáticas de Paulo Afonso; contudo, mostrou-se interessante para entender o comportamento da ventilação natural.

Já a modelagem com o programa Analysis Bio, apresentou resultados mais adequados para serem utilizados como base de projetos em Paulo Afonso, por considerarem as condições de conforto preconizadas pelas normas brasileiras, mais propícias às regiões tropicais.

A ventilação natural, em conjunto com a alta inércia e o resfriamento evaporativo, são indicadas para restabelecer o conforto térmico em quase 85% das horas do ano, tornando-se a estratégia mais recomendada ao lado do sombreamento.

Para os demais períodos do ano, o mais adequado é optar pelo fechamento das aberturas para o exterior, evitando a entrada de ventos quentes, e apostar em uma arquitetura pensada para dispor de soluções que impeçam a forte radiação solar, de adentrar para o interior do edifício. Desta forma, é importante que o arquiteto em Paulo Afonso ao projetar procure adequar suas concepções a essas quatro estratégias bioclimáticas em conjunto, compreendendo que elas podem atuar em momentos diferentes tanto em conjunto (se potencializando) como

isoladamente, atendendo outras demandas.

Nas horas de ausência de ventos, é interessante investir em uma solução híbrida, por meio da utilização de ventiladores de mesa ou de teto, por exemplo.

Há uma vasta literatura referente a como utilizar a ventilação natural para condições climáticas semelhantes às de Paulo Afonso. Os demais conhecimentos sobre sua utilização já são detalhadamente abordados por diversos pesquisadores, como Toledo (2001), CAIXA (2010), ELETROBRAS/ INMETRO (2012), ELETROBRAS/ PROCEL (2014), Lamberts et al. (2016), Tibúrcio (2017), Silva e Toledo (2021), dentre outros; além dos materiais da PROCEL e sites voltados para a área de conforto térmico, como o PROJETEEE, por exemplo.

Nota-se a necessidade de novas investigações, como um estudo específico para adequar a ventilação natural nas edificações geminadas do bairro da antiga Vila Poty, que possuem plantas similares, com compartimentos sem janelas (alcovas); além de um material mais aprofundado da utilização do resfriamento evaporativo e alta inércia térmica, para as temperaturas altas do período da tarde.

Além disso, pesquisas que levantem a percepção e preferência térmica dos moradores locais são necessárias, visando confrontar com os dados gerados pelos dois softwares utilizados.

REFERÊNCIAS

ARQUIVOS CLIMÁTICOS INMET 2016. LABEEE. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2016>>. Acesso em: 11 de novembro de 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15220-3: desempenho térmico de edificações residenciais. Parte 3 - Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, ABNT, 2005.

BAHIA | PAULO AFONSO | PANORAMA. IBGE. 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/paulo-afonso/panorama>>. Acesso em: 18 de setembro de 2022.

BITTENCOURT, Leonardo; C NDIDO, Christhina. Ventilação natural em edificações. Rio de Janeiro: Eletrobrás/Procel, 2010.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL - CAIXA. Boas práticas para habitação mais sustentável. Coordenadores Vanderley

Moacyr John; Racineu Tadeu Araújo Prado. São Paulo: Páginas & Letras, 2010.

CLIMA, CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS EM PAULO AFONSO NO ANO TODO. Wheater Spark. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/31084/Climacaracter%C3%ADstico-em-Paulo-Afonso-Brasil-durante-o-ano>>. Acesso em: 15 de agosto de 2022.

COSTA, Gleidson Martins da; FUCALE, Stela. Avaliação do desempenho de edificação com vedações verticais de concreto armado moldado in loco. *Research, Society and Development*. V.11, n.10, 2022.

COSTA, Maria Livia da Silva. Análise do conforto térmico utilizando a ventilação natural e do consumo de energia com o uso do ar condicionado: O Caso da Faculdade de Arquitetura e da Escola Politécnica. 2022, 187 f. Tese (Doutorado em Engenharia Industrial) Universidade Federal da Bahia, Salvador.

DADOS CLIMÁTICOS. Projeteee. Disponível em: http://www.mme.gov.br/projeteee/dados=-climaticos/?cidade=BA+-+Paulo+Afonso&id_cidade=bra_ba_paulo.afonso.829860_inmet>. Acesso em: 11 de setembro de 2022.

ELETOBRAS/INMETRO. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais - RTQ-R, 2012.

ELETOBRAS/PROCEL. Manual para aplicação do RTQ-R, 2014.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. Manual de conforto térmico. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GOULART, S. V. G.; LAMBERTS, R; FIRMINO S. Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras. 2. ed. Florianópolis: UFSC, 1998.

HISTÓRIA DA CIDADE. Prefeitura de Paulo Afonso. 2014. Disponível em: < <http://www.pauloafonso.ba.gov.br/novo/?p=noticias&i=4004>>. Acesso em: 27 de setembro de 2022.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES – LABEE. Analysis BIO. Acessado em 13 de fevereiro de 2023. labeee.ufsc.br/pt-br/downloads/software/analysis-bio.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. Eficiência Energética na Arquitetura. 3.ed. Rio de Janeiro: Eletrobrás/Procel, 2014.

LIMA, João de Sousa. Paulo Afonso e a Vila Poty: A história não contada. Paulo Afonso, BA: Editora Fonte Viva, 2017.

MENDONÇA, Francisco; DANNI-OLIVEIRA, Inês M. Climatologia: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MONTENEGRO, Gildo A. Ventilação e Cobertas: estudo teórico, histórico e descontraído. São Paulo: Edgard Blucher, 1984.

NEW TWO-TIER APPROACH ON “CLIMATE NORMALS”. WMO. 2015. Disponível em: <<https://public.wmo.int/en/media/news/new-two-tier-approach-%E2%80%9Cclimatennormals%E2%80%9D#:~:text=Climate%20normals%20are%20presently%20updated,climate%20much%20faster%20than%20before>>. Acesso em: 27 de setembro de 2022.

NORMAIS CLIMATOLÓGICAS DO BRASIL. INMET. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/normais>>. Acesso em: 27 de setembro de 2022.

OLGYAY, Victor. Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism. 4ª ed. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA, 1973.

PACHECO, Giovani Hudson Silva. Determinação de recomendações bioclimáticas para habitação de interesse social de quatro climas do Rio Grande do Norte. 2016. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal.

PROCEL. Diretrizes para Obtenção de Classificação Nível A para Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas. 2014.

SILVA, Antônio Galdino da. Abel Barbosa: O inventor de Paulo Afonso. Paulo Afonso, BA: Editora Oxente, 2019.

SILVA, Antônio Galdino da. De Forquilha a Paulo Afonso: Histórias e Memórias Pioneiras. Paulo Afonso, BA: Editora Fonte Viva, 2014.

SILVA, K. R. G.; TOLEDO, A. M. Determinação do padrão dos ventos das nove capitais do nordeste do Brasil para aplicação em edifícios multifamiliares da tipologia H. In:

XVI ENCAC/ XII ELACAC, 2021, Palmas/TO. Anais ENCAC/ ELACAC 2021. São Paulo/ SP: ANTAC, 2021. p.850 – 859.

SOCIETY OF BUILDING SCIENCE EDUCATORS – SBSE. CLIMATE CONSULTANT. Acessado em 13 de fevereiro de 2023. <https://www.sbse.org/resources/climate-consultant>.

TIBURCIO, Isabela Cristina da Silva Passos. Ventilação natural em edificações residenciais: parâmetros normativos para configuração das aberturas. 2017, 155 f. Tese (Doutorado em Dinâmica do Espaço Habitado). Universidade Federal de Alagoas, Maceió.

TOLEDO, Alexandre Márcio. Ventilação natural e conforto térmico em dormitórios: aspectos bioclimáticos para uma revisão do código de obras e edificações de Maceió. 2001. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

Registro da contribuição de autoria:

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

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

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

Declaração de conflito: nada foi declarado.

AUTORES

ORCID: 0000-0002-6890-1505

ALEXANDRE MÁRCIO TOLEDO, Dr. | UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS | ARQUITETURA E URBANISMO | MACEIÓ, AL - BR | CORRESPONDÊNCIA PARA: R. IBIRIBA, 261 – GRUTA DE LOURDES, MACEIÓ - AL, 82 99983-6248 | E-mail: alexandre.toledo@fau.ufal.br

ORCID: 0009-0005-9757-7758

ERIKLIS YURE SILVA LEONEL, Especialista. | UNIVERSIDADE CATÓLICA DO SALVADOR | CONFORTO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE | SALVADOR, (BA) - BR | CORRESPONDÊNCIA PARA: R. PADRE CÍCERO, 41 – NOSSA SENHORA DE FÁTIMA, PAULO AFONSO - BA, 75 99125-8440 | E-mail: yureleonel@hotmail.com

COMO CITAR ESTE ARTIGO

TOLEDO, Alexandre Márcio; LEONEL, Eriklis Yure Silva. MIX Sustentável, v. 9, n. 3, p. 131-146, 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.n3.131-146>>.

SUBMETIDO EM: 18/01/2023

ACEITO EM: 02/04/2023

PUBLICADO EM: 30/07/2023

EDITORES RESPONSÁVEIS: Helena Maria Coelho da Rocha Terreiro Galha Bártolo e Lisiane Ilha Librelotto.

SUSTAINABILITY LEVELS ANALYSIS: A STUDY CASE OF GRAIN TRANSPORTATION USING ROADRAILERS

ANÁLISE DOS NÍVEIS DE SUSTENTABILIDADE: UM ESTUDO DE CASO DO TRANSPORTE DE GRÃOS UTILIZANDO RODOTRILHOS

ANÁLISIS DE NIVELES DE SOSTENABILIDAD: UM ESTUDIO DE CASO DE TRANSPORTE DE GRANOS UTILIZANDO CARRETERA-CARRIL

GUILHERME PERES DOS SANTOS | UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina, Brazil

RICARDO VILLARROEL DÁVALOS | UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina, Brazil

ABSTRACT

Like any other industrial or service activity, transport sector requires sustainable solutions development. Meeting such demands becomes even more urgent in economies that use road transportation for most of their activities. Aiming to propose possible alternatives to road transportation, so that it doesn't compromise operational performance, this research evaluates potential impacts by adopting RoadRailer intermodal system for low-added value cargo transportation. The study use fuzzy logic, taking as analysis object the sustainability level of individual activities by road and rail for agricultural product movement from countryside to Paraná State's coast, as well as the way how this indicator can be affected by combination of these modes. The results point to more sustainable options through intermodality, also depending on the adopted transport modes sequencing for routing.

KEYWORDS

Sustainability; grain transportation; RoadRailer; Fuzzy System

RESUMO

Assim como qualquer atividade industrial e de serviços, o setor de transporte requer o desenvolvimento de soluções sustentáveis. O atendimento a tais demandas se torna ainda mais urgente em economias que utilizam o transporte rodoviário para a maioria de suas atividades. Visando propor possíveis alternativas ao transporte rodoviário, de modo que não comprometa o desempenho operacional, esta pesquisa avalia os possíveis impactos da adoção de um sistema intermodal de rodotrilhos para o transporte de cargas de baixo valor agregado. O estudo utiliza a lógica difusa, tendo como objeto de análise o nível de sustentabilidade das atividades individuais por rodovias e ferrovias para o transporte de produtos agrícolas do interior ao litoral do estado do Paraná, bem como a maneira como este indicador pode ser afetado pela combinação dessas modalidades. Os resultados apontam para opções mais sustentáveis através da intermodalidade, a depender também do sequenciamento dos modos de transporte adotados na roteirização.

PALAVRAS-CHAVE

Sustentabilidade; transporte de grãos; Rodotrilho; Sistema Nebuloso



RESUMEN

Como toda actividad industrial y de servicios, el sector del transporte requiere del desarrollo de soluciones sostenibles. Satisfacer tales demandas se vuelve aún más urgente en economías que utilizan el transporte por carretera para la mayoría de sus actividades. Buscando proponer posibles alternativas a este transporte, de modo que no comprometa el desempeño operativo, esta investigación evalúa los posibles impactos de la adopción de un sistema intermodal vial-ferroviario para el transporte de carga de bajo valor agregado. El estudio utiliza la lógica difusa, teniendo como objeto de análisis el nivel de sostenibilidad de las actividades individuales por carretera y ferrocarril para el transporte de productos agrícolas desde el interior hasta la costa del estado de Paraná, así como la forma en que este indicador puede verse afectada por la combinación de estas modalidades. Los resultados apuntan a opciones más sostenibles a través de la intermodalidad, también en función de la secuencia de modos de transporte adoptados en el enrutamiento.

PALABRAS CLAVE

Sostenibilidad; transporte de granos; Carretera-carril; Sistema Nebuloso

1. INTRODUCTION

The more movable, more developed is a country, be it due to the moving of goods for its several regions supply and global trade, or to passenger locomotion, nationally or internationally.

Goods transportation distribution in Brazil concentrates more than half of its activities on roadway transport, which creates a freight dependency on this mode, besides being more expensive and harmful to environment, leading to a need for service relocation by other modalities, like railway and waterway.

The Search for sustainable practices is theme that has been gaining more space within productive sectors. Evidently, this criterion brings constant challenges and concerning in transportation activities, given that, in Brazilian case, roadway mode is used the most, and simultaneously, the biggest greenhouse gas (GHG) generator (HEINOLD; MEISEL, 2018).

Among many alternatives to individual road transportation there's intermodal systems implementation, which consists on integration and better use of positive characteristics that each mode has to provide (LOWE, 2005). The RoadRailer system is an intermodal transport feature that presents a combination of roadway flexibility in initial and final stretches with the bigger capacity by railway haulage (JOHNSTON; MARSHALL, 1993).

This research has the goal to develop a sustainability levels analysis model among different grain transportation alternatives from production area and storage to the shore. For that, it settles a comparison between road or rail individual transportation and RoadRailer system, considering as assessment parameters the time required performance related and GHG emission.

2. LITERATURE REVIEW

Goods transportation in Brazil is made around 60% by trucks (CNT, 2019). However, there is gap this modality cannot individually fulfill in terms of sustainability. It is the low added value products case for long distances, not being this the more suitable transport mode for such service. Besides, this mode responds for over 90% of transport sector pollutant emissions (SOLIANI, 2021).

Railroads, on the other hand, have as main characteristic an inferior operational performance to highways. In addition to lower speed, a lot of time is spent on terminals loading operations (ANTT, 2022). Such condition is directly related to divestments followed by privatizations

during the 90s (SILVEIRA, 2002).

2.1. Transport sustainability

According to (BRUNDTLAND, 1987), sustainable development is defined as:

development that meets the needs of the present without compromising the ability to future generations to meet their own needs.

In addition, sustainable development must achieve a three-win solution, being socially inclusionary, environmentally sustainable and economically viable (SACHS, 2010).

However, despite sustainability and sustainable development are considered important frames to structure policies and debates, it still lacks a clear consensus of what is a sustainable development, its desirability, or how to achieve it. Such issue requires integrating activities over simple pursuing independent list of goals (MANCERO; SACHS, 2015). Furthermore, the authors quote subsidiary goals which must be achieved, like gender equality, insurance of healthy lives, insurance of food security and good nutrition, quality education and lifelong learning offer, universe access to water and sanitation, secure and sustainable energy, among others

In transportation sector, two main dimensions are highlighted. The first one refers to trip number decreasing, through spatial distribution planning and land use. The second one refers to higher energy efficiency and preference for vehicle supply with renewable power sources (BANISTER, 2018). The highway-railway integrated system in Europe is one positive outcome example of intermodal transportation options (MINÁRIK, 2021).

Rail transportation advantages over roadways, from an environmental point of view, are already broadly grounded. Such indicator can be verified by energy consumption or emitted pollutants amount per transported unit by each mode (BIGAZZI, 2019; PINCHASIK et al., 2020; WINEBRAKE et al., 2008). In face of this fact, the looking for solutions backed to intermodality can lead to benefits, not environmentally only, but economics as well (HAVENGA et al., 2011).

Rajak, Parthiban and Dhanalakshmi (2016) propose an evaluation concerning urban public transportation, in which environment, social, economic and service effective aspects are considered. Under this perspective, cargo transportation might be analyzed as well. Zhao et

al. (2020) address an increasing of scientific researches about sustainability in transport services for the last two decades, including “sustainability”, “model” and “carbon emission” as three top keywords.

Finally, given that transportation activities affect directly quality of life, people participation plays an important role on making decisions, settling policies and strategies, considering transport multiple indicators (STEG; GIFFORD, 2005).

2.2. RoadRailer system

The RoadRailer constitutes an interchangeable system of rail traction of semi-trailers. Its main feature is the ability to handle freight compartments both by highways and railways, providing agility to goods transference with no need for transshipment between modes, which can reduce cargo operation and handling time required at yards and terminals (LOWE, 2005).

This system is similar to container operations, with the difference that the transference equipment is less complex. It is required only the semi-trailers, mechanical adapters, so that the semi-trailers can operate as wagons too, transference pneumatic devices and rail bogies support (MINDUR, 2016). Figure 01 indicates the components to operate a RoadRailer system.

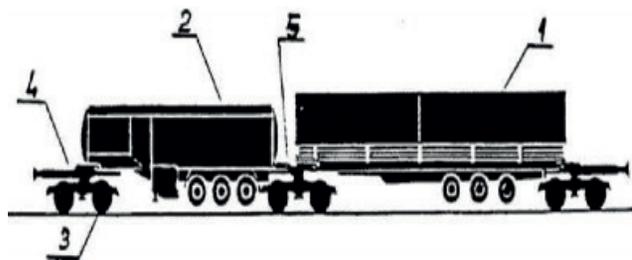


Fig. 1. Bimodal train elements: 1 - Chest road - rail trailer, 2 - tank semi-trailer road and railway, 3 - Standard bogie, 4 - utmost adapter train devices, 5 - middle adapter.

Figure 01: RoadRailer system components.
 Source: Mindur (2016).

2.3. Fuzzy sets

Be X a set of points. A fuzzy set A in X is characterized by the membership function $f_A(x)$, which associates to each element $x \in X$ a membership degree within $[0, 1]$ interval (ZADEH, 1965). The author takes as example the $f_A(x)$ function that represents the “numbers much bigger than 1” set, so that number 5 has a membership degree closer to 0.0 than number 100, in this set. Insofar as x holds off from 1,

closer the membership function will be to 1.0 within the settled interval.

Unlike classical logic sets, a fuzzy system is constituted by linguistic variables that may belong to more than one set simultaneously. Temperature is a variable example that might assume “low”, “medium” and “high” classifications, depending on beholder (GOMIDE; GUDWIN, 1994). By Figure 02, one can see that insofar as temperature approximates 50 °C, its membership degree to “Medium” function increases and decreases for “Low” function.

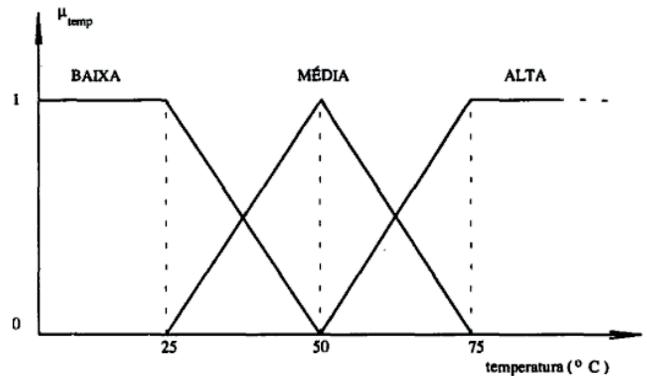


Figure 02: Membership degree of “temperature” variable.
 Source: Gomide and Gudwin (1994).

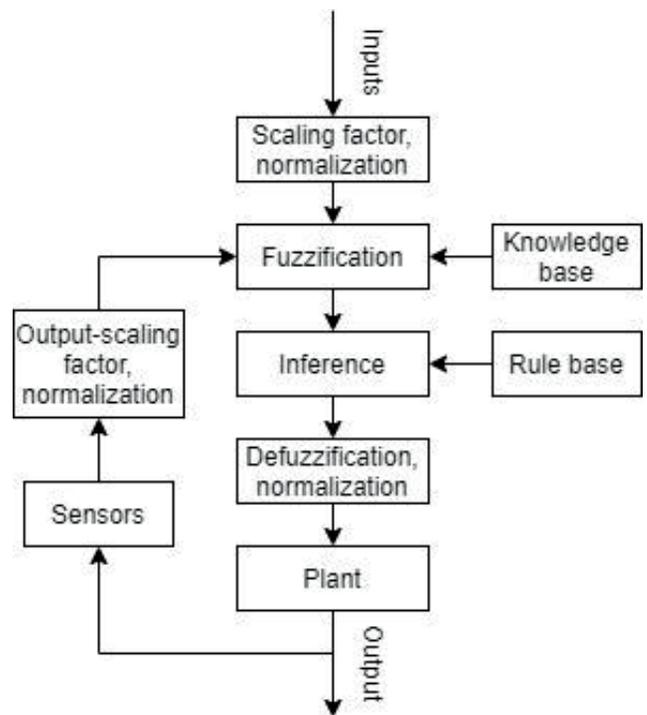


Figure 03: Fuzzy variables assessment structure.
 Source: Authors, adapted from Ross (2010).

The assessment process for a given index starts by fuzzification, turning a classical (or crisp) variable into a fuzzy one. At the end, it is generated a response variable by defuzzification process, which consists in making scalar

a fuzzy value, in order to provide a general index to support decision making (ROSS, 2010). Figure 03 summarizes an assessment process of fuzzy sets.

Through fuzzy analysis, Dumane, Sarate and Chavan (2018) suggest that an overall sustainability may be divided in: ecological, comprising air, land, water and biodiversity; and human, which includes policy, wealth, health and knowledge.

3. METHODOLOGICAL PROCEDURE

Brazilian railway system presents low operational speeds in most of its network. However, another factor that increases grain transportation spent time are waiting and delays at terminals for cargo shipping from warehouses to wagons.

Aiming to evaluate possible improvements sustainability-related, it was simulated transport performance by RoadRailer intermodality on moving agricultural products from Brazil's southern region countryside to the coast for foreign trade, in order to establish a comparison with transportation roadway and railway vehicles loaded through transshipment process. RoadRailleurs operational data were obtained indirectly from registered data by Ferreira and Sigut (1995).

Taking the premise that there's a better operational performance by trucks, and minor environmental impacts by trains given their lower greenhouse gas emissions (GHG), it was taken as reference Seara LLD grain terminal for transport performance and environmental impacts analysis, from Londrina city, in Paraná state, to Dom Pedro II port, in Paranaguá.

Once the RoadRailer intermodality dismisses transshipment, and consequent cargo storage, this alternative has bigger flexibility to operate at intermediate yards along the path, being able to easily transit between road and rail modes. The study case steps to determine the routes sustainability levels across the bounded region are divided in: data collection, fuzzy system modeling and output parametrization to classify the alternatives.

4. STUDY CASE

As options to move the grains from countryside to the coast, there are railway and roadway transportation with transshipment since the origin in Londrina, and roadway movement along initial stretches as well, allowing mode exchange to rail through RoadRailer intermodality at intermediate rail yards, in cities such as Apucarana and Mauá da Serra.

When approaching final destiny by rail, it is also possible to transfer the compartments, using as changing points in Ponta Grossa, São José dos Pinhais and Morretes cities, from which cargo can be transported by road to the final destiny. By this arrangement, 14 different routes were identified, varying among transition possibilities road-to-rail and rail-to-road. It wasn't adopted railway paths shorter than 200 kilometers. Figure 04 describes possible routes to transport the agricultural products.

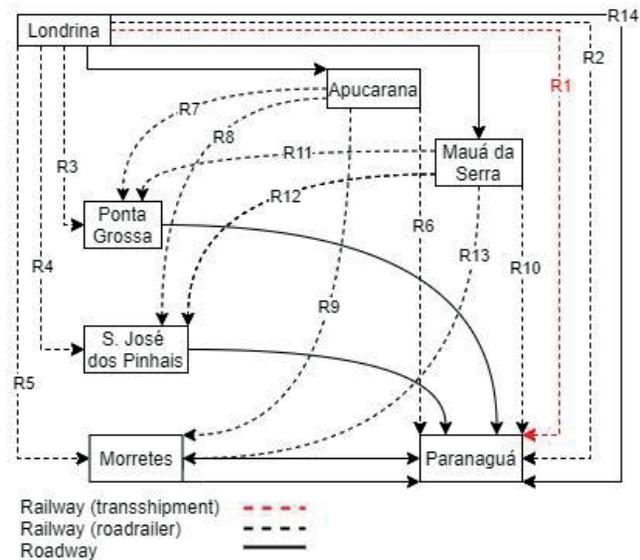


Figure 04: Available routes for grain movement.
Source: Authors.

It was necessary 245 simulation rounds so that the obtained parameters were situated within a 95% confidence interval.

4.1. Data collection

The fuzzy system input data were transport time required and GHG emission rates, to determine performance index and environmental impact, respectively. Table 01 expresses evaluated parameters, softwares used to build the simulation systems, and output data.

For performance data, ARENA Simulation® software was employed to calculate both trains loading/assembly microsimulation and the movement of grains until Dom Pedro II port macrosimulation.

When it comes to pollutants emission simulation processes, it was employed GREET® 2021 software, which simulates the total emission rate for a given activity, including grain production and its transportation to the final destiny. For the aimed evaluation, only transportation emission was considered, since production GHG emissions don't depend on the chosen mode.

Independent variables	Simulation softwares	Simulated data	
		Lower limit	Upper limit
Performance (hours)	ARENA Simulation® • Input Analyzer • Output Analyzer	19.87	50.86
GHG emission (ton/TU)	GREET 2021®	0.0093	0.0262

Table 01: Obtained data.
Source: Authors.

4.2. Fuzzy system modeling

The fuzzy system first step construction consisted in assessment index normalization, by attributing the membership functions according to each linguistic variable classification. The membership functions of independent variables take a triangular shape given by equation (1).

$$\mu(x) = ax + b \quad (1)$$

Figure 05 illustrates the fuzzification system of normalized values related to independent variables, with scale from 1 to 5, being classified as “very bad” for long term trips or high emission rates and “very good” for short term trips

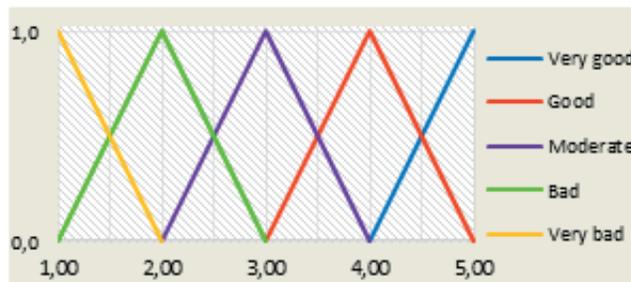


Figure 05: Membership functions of independent variables.
Source: Authors.

and low emission rates.

4.3. Output data parametrization

Defuzzification process involved determining the number of membership functions by association rules and their parameters for final classification of each transportation route.

The bigger is the number of fuzzy sets, the better is the classification accuracy, being recommended practical values between 2 and 7 sets, not providing significant gains for values above this interval. Besides, the recommended superposition of functions is meant be within 0.25 and 0.75 range (SIMÕES; SHAW, 2007).

Equations (2) and (3) define the sustainability levels' membership functions, which assume sigmoid shapes for the extreme classifications (minimum and maximum) and gaussian shapes for intermediate sets, respectively.

$$\mu_1(x) = \frac{1}{1 + e^{-\beta x + \tau}} \quad (2)$$

$$\mu_2(x) = e^{-\frac{(x - \tau)^2}{\beta}} \quad (3)$$

Table 02 provides the adopted parameters from equations (2) and (3), being a direct reflection from their shapes and positions.

The association rules between independent variables

Fuzzy set	β	τ	Classification
Minimum	-12,00	18,00	1,0
Very low		2,00	2,0
Low		3,00	3,0
Moderate	0,360	4,00	4,0
High	7	5,00	5,0
Very high		6,00	6,0
Maximum	12,00	-78,00	7,0

Table 02: Defuzzification parameters.
Source: Authors.

are defined by Table 03, so it determines the membership sets for each predicted alternative.

The membership fuzzy sets subjected to defuzzification process are represented by Figure 06 graphic. The more placed to right, the more sustainable is the alternative.

Sustainability levels are obtained by the Area's Centroid method. Equation (4) expresses the sustainability degree output.

$$x^* = \frac{\sum \mu_i(x) x_i}{\sum \mu_i(x)} \quad (4)$$

Operational performance	GHG emission rates				
	Very high	High	Moderate	Low	Very low
Very slow	Minimum	Minimum	Very low	Low	Moderate
Slow	Minimum	Very low	Low	Moderate	High
Moderate	Very low	Low	Moderate	High	Very high
Fast	Low	Moderate	High	Very high	Maximum
Very fast	Moderate	High	Very high	Maximum	Maximum

Table 03: Association rules of alternatives' sustainability levels.
Source: Authors.



Figure 06: Fuzzy sets for classification of sustainability levels.
Source: Authors.

5. RESULTS AND DISCUSSION

Roadway individual transportation presented the highest operational performance, given its higher speed compared to any other alternative. Yet, its low energy efficiency made it the worst environmental performance. About individual railway transshipment mode, it was observed the opposite phenomenon to roadway. Hence, the centroid areas for individual modes routes alternatives are placed exactly where horizontal axis marks 4.00.

The output data that concerning about travel time performance and emission rates are expressed by Table 04.

Based on Ross (2010) proposed fuzzy structure, and Dumane, Sarate and Chavan (2018) guidelines, the current procedure has led to the following sustainability defuzzification parameters. Figure 07 represents x^* value from Equation (4) related to each route. Appendix A's Figure 08 illustrates the respective areas for centroid calculation in each available alternative.

Based on the obtained results, it is verified that intermodal routes R2, R6, R8 and R10 presented superior sustainability levels to individual transport mode alternatives. On the other hand, intermodality presented the worst results for routes R3, R7 and R11, which are belong to "Moderate", "Low", "Very low", and "Minimum" set levels, even if in low degree in the last group. It stands out that operational performance and environmental impact had the same importance degree on sustainability analysis structuring.

Alternative	Performance (h)	Emission (Ton/TU)
Route 1	50.86	9.30E-03
Route 2	41.40	9.30E-03
Route 3	45.42	1.72E-02
Route 4	48.54	1.25E-02
Route 5	50.18	1.09E-02
Route 6	39.87	1.12E-02
Route 7	43.37	1.91E-02
Route 8	47.14	1.09E-02
Route 9	49.35	1.29E-02
Route 10	37.29	1.20E-02
Route 11	40.93	2.00E-02
Route 12	45.25	1.53E-02
Route 13	47.78	1.37E-02
Route 14	19.87	2.62E-02

Table 04: Alternatives sustainability level.
Source: Authors.

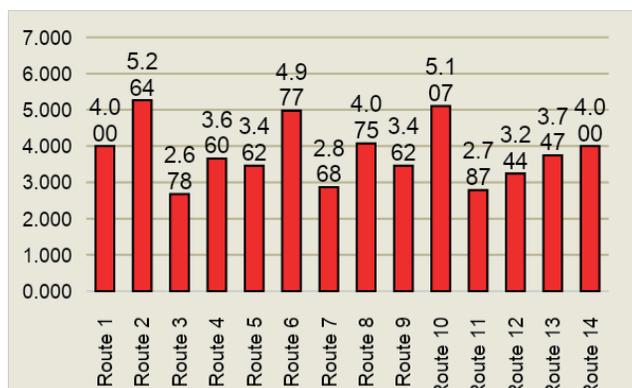


Figure 07: Defuzzification outputs.
Source: Authors.

6. FINAL CONSIDERATIONS

The present work focused on the possibility to implement a cargo intermodal transport system as an alternative to accomplish higher sustainability indexes in this service sector. Given the necessity of continuous search for less harmful practices to the environment, it is always effectual to understand alternatives that make possible this goal without big losses to operational feasibility. The research identified four alternatives with better sustainability levels for goods transportation in relation to the movement by a unique mode. That reinforces Minárik (2021) and Havenga et al. (2011) statements about intermodal transportation's potential advantages.

The methodological procedures had similar aspects to Hemdi, Saman and Sharif (2013) case study, in which resorts to fuzzy analysis to settle sustainability levels on electric power generation. The authors use Equation (4) in order to determine the best alternative considering parameters like pollution, technology, cost, safety, among other. It is important to quote that the authors consider environmental, economic and social aspects for sustainability assessment.

Rajak, Parthiban and Dhanalakshmi (2016) also evaluate sustainability indexes by fuzzy system logic. Besides method similarity with the present article, the authors attribute different weights to each parameter, providing good data precision related service users perception.

For future research, it is suggested to assess other independent variables and their implications to transport sustainability levels, such as cost, reliability, frequency, safety, and others. It is also recommended variables assessment under different importance weights, once shippers might not consider the indicators as equally prioritizeable.

REFERENCES

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. **Declaração de rede**. Disponível em: <<https://portal.antt.gov.br/declaracao-de-rede-2022>>. Acesso em: 20 out. 2022.

BANISTER, D. Policy on sustainable transport in England: the case of high speed 2. **European Journal of Transport and Infrastructure Research**, v. 18, n. 3, p. 262–275, 2018.

BIGAZZI, A. Comparison of marginal and average emission factors for passenger transportation modes. **Applied Energy**, v. 242, p. 1460–1466, 2019.

BRUNDTLAND, G. H. **Report of the world commission on environment and development**. United Nations, 1987.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES. **Pesquisa CNT de rodovias 2019: 23**. Brasília: [s.n.]. Disponível em: <<https://pesquisarodovias.cnt.org.br/downloads/ultimaversao/gerencial.pdf>>.

DUMANE, P. R.; SARATE, A. D.; CHAVAN, S. S. Sustainability assessment by use of fuzzy logic—a review. [s.l.] **Springer Singapore**, 2018. v. 810

FERREIRA, L.; SIGUT, J. Modelling Intermodal Freight Terminal Operations. **Road and Transport Research Journal**, v. 4, n. 4, p. 4–16, 1995.

GOMIDE, F. A. C.; GUDWIN, R. R. Modelagem, controle, sistemas e lógica fuzzy. **SBA Controle & Automação**, v. 4, n. 3, p. 97–115, 1994.

HAVENGA, J. H. et al. Sustainable freight transport in South Africa: domestic intermodal solutions. **Journal of Transport and Supply Chain Management**, v. 5, n. 1, p. 149–169, 2011.

HEINOLD, A.; MEISEL, F. Emission rates of intermodal rail/road and road-only transportation in Europe: A comprehensive simulation study. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 65, p. 421–437, 2018.

- HEMDI, A. R.; SAMAN, M. Z. M.; SHARIF, S. Sustainability evaluation using fuzzy inference methods. **International Journal of Sustainable Energy**, v. 32, n. 3, p. 169–185, 2013.
- JOHNSTON, M. L.; MARSHALL, S. Shipper perceptions of intermodal equipment. **Transportation Journal**, v. 33, n. 1, p. 6–9, 1993.
- LOWE, D. **Intermodal Freight Transport**. 1. ed. Oxford: Elsevier, 2005.
- MANCEBO, F.; SACHS, I. **Transitions to sustainability**. 1. ed. Dordrecht: Springer, 2015.
- MINÁRIK, M. Sustainable Transport of Goods Using Combined Transport Solutions: The Case of EU. **Naše gospodarstvo/Our economy**, v. 67, n. 2, p. 29–39, 2021.
- MINDUR, L. Concept of Freight Road-Railing Transport in Bimodal. **Logistics and Transport**, v. 2, n. 30, p. 67–72, 2016.
- PINCHASIK, D. R. et al. Crossing borders and expanding modal shift measures : effects on mode choice and emissions from freight transport in the Nordics. **Sustainability**, v. 12, n. 3, p. 1–23, 2020.
- RAJAK, S.; PARTHIBAN, P.; DHANALAKSHMI, R. Sustainable transportation systems performance evaluation using fuzzy logic. **Ecological Indicators**, v. 71, p. 503–513, 2016.
- ROSS, T. J. **Fuzzy logic with engineering applications**. 3. ed. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2010.
- SACHS, I. In search of three-win solutions: the challenges of the 2012 UN conference on environment and sustainable development. **Sustentabilidade em Debate**, v. 1, n. 2, p. 25–29, 2010.
- SILVEIRA, M. R. Transporte e Logística: as Ferrovias no Brasil. **Geosul**, v. 17, n. 34, p. 63–86, 2002.
- SIMÕES, M. G.; SHAW, I. S. **Controle e modelagem fuzzy**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2007.
- SOLIANI, R. D. Brazilian road freight transportation sector: the challenge of sustainability. **Journal of Traffic and Logistics Engineering**, v. 9, n. 2, p. 32–41, 2021.
- STEG, L.; GIFFORD, R. Sustainable transportation and quality of life. **Journal of Transport Geography**, v. 13, p. 59–69, 2005.
- WINEBRAKE, J. J. et al. Assessing energy, environmental, and economic tradeoffs in intermodal freight transportation. **Journal of the Air & Waste Management Association**, v. 58, n. 8, p. 1004–1013, 2008.
- ZADEH, L. A. Fuzzy sets*. **Information and Control**, v. 8, n. 3, p. 338–353, 1965.
- ZHAO, X. et al. Evaluation of sustainable transport research in 2000-2019. **Journal of Cleaner Production**, v. 256, p. 1–16, 2020.

APPENDIX A

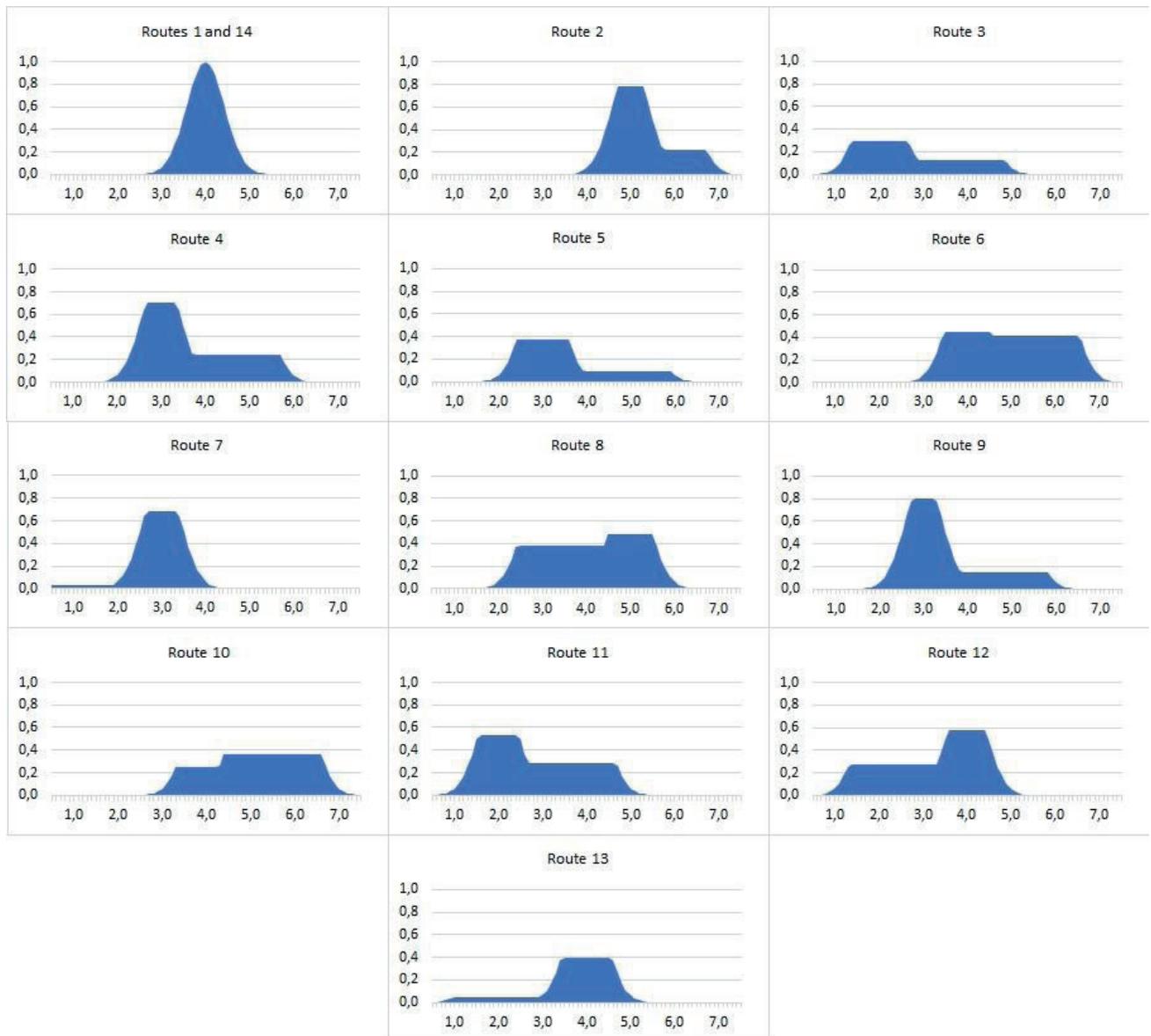


Figure 07: Defuzzification outputs.

Source: Authors.

AUTHORS

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8964-2899>
GUILHERME PERES DOS SANTOS, Mestrado. | Universidade Federal de Santa Catarina | Transport Engineering and Territorial Management | Florianópolis, SC) - Brazil | E-mail: guilherme77peres@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9747-4453>
RICARDO VILLARROEL DÁVALOS, Doutorado. | Universidade Federal de Santa Catarina | Production and Systems Engineering | Florianópolis, SC) - Brazil | E-mail: ricardo.davalos@ufsc.br

HOW TO CITE THIS ARTICLE

SANTOS, Guilherme Peres dos; DÁVALOS, Ricardo Villarroel. MIX Sustentável, v. 9, n. 3, p. 147-157, 2023. ISSN 2447-3073. Available at: <http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>. Accessed at: [_/_/_](https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n3.147-157). doi: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n3.147-157>.

SUBMITTED AT: 25/11/2022

ACCEPTED AT: 04/05/2023

PUBLISHED AT: 30/07/2023

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

Record of authorship contribution:

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

GPS: Conceptualization, data curation, formal analysis, investigation, methodology, resources, visualization, writing – original draft, and writing – review & editing.

RVD: Conceptualization, formal analysis, methodology, supervision, validation, visualization, and writing – review & editing.

Declaration of conflict: nothing was declared.

COBERTURAS VERDES: CONCEITO, APLICAÇÃO E DESEMPENHO

GREEN ROOFS: CONCEPT, APPLICATION AND PERFORMANCE

CUBIERTAS VERDES: CONCEPTO, APLICACIÓN Y DESEMPEÑO

FERNANDO SÉRGIO OKIMOTO, DR. | UNESP - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Brasil.

LEONARDO FERREIRA DE MELLO | UNESP - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Brasil.

RESUMO

O presente texto se trata de uma revisão bibliográfica dos conceitos, definições e desempenho das coberturas verdes, as quais são introduzidas com o intuito de promover benefícios econômicos e socioambientais no meio urbano. Tal tipo de cobertura permite um melhor aproveitamento do espaço, permitindo um melhor conforto ambiental e eficiência energética, que gera como consequência uma melhoria na qualidade de vida em sociedade. Juntamente, é apresentado nessa revisão bibliográfica uma análise sobre a origem e a evolução dos telhados verdes, os tipos de vegetação adequados para a sua constituição, a sua aplicação, desempenhos comparativos em diferentes climas, além das dificuldades e barreiras que se encontram para a sua construção. Verifica-se então, que as coberturas verdes são soluções funcionais para se tornar o meio urbano um ambiente mais atrativo, proveitoso e benéfico para os seus cidadãos.

PALAVRAS-CHAVE

Cobertura verde; desempenho ambiental; eficiência energética.

ABSTRACT

This text is a bibliographic review of the concepts, definitions and performance of green roofs, which are presented with the aim of promoting economic and socio-environmental benefits in the urban environment. This type of coverage allows a better use of space, allowing greater environmental comfort and energy efficiency, which consequently generates an improvement in the quality of life of society. Together, this bibliographic review presents an analysis of the origin and evolution of green roofs, the types of vegetation suitable for their constitution, their application, comparative performances in different climates, in addition to the difficulties and barriers that are encountered in their construction. It is then verified that green roofs are functional solutions to make the urban environment a more attractive, profitable and beneficial environment for its citizens.

KEYWORDS

Green roofs; environmental performance; energy efficiency.

RESUMEN

El presente escrito trata de una revisión bibliográfica de los conceptos, definiciones y desempeño de los techos verdes, los cuales son introducidos con el fin de promover beneficios económicos y socioambientales en el espacio urbano. Este tipo de techo permite un mejor aprovechamiento del espacio, permitiendo un mejor comodidad ambiental y eficiencia energética, que genera como consecuencia una mejoría en la calidad de vida en la sociedad. En conjunto, se expone en esa revisión bibliográfica un análisis sobre el origen y evolución de los techos verdes, los tipos de vegetación



adecuados para su constitución, su aplicación, desempeños comparativos en diferentes climas, además de las dificultades y barreras que se encuentran en su construcción. Por lo tanto, es posible establecer que los techos verdes son soluciones funcionales para convertir el entorno urbano en un ambiente más atractivo, práctico y beneficioso para sus ciudadanos.

PALABRAS CLAVE

Cubiertas verdes; desempeño ambiental; eficiencia energética.



1. INTRODUÇÃO

As coberturas verdes têm sido estudadas e aplicadas em projetos de arquitetura e na construção civil, mas a hipótese apresentada aqui é que, se restringe, muitas vezes apenas ao caráter político e/ou comercial. Tais coberturas não têm sido amplamente utilizadas como soluções na busca de melhorias dos desempenhos térmico, acústico, de estanqueidade, de detenção e/ou retenção de águas pluviais. Acabam sendo considerados aspectos paisagísticos e biológicos como sequestros de carbono e, por muitas vezes, apenas qualitativamente.

Este trabalho busca estudar a evolução conceitual e como têm sido abordados esses desempenhos negligenciados para investigar futuros nichos de pesquisa e tendências.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho foi de realizar uma revisão bibliográfica acerca das coberturas verdes e dos seus desempenhos a envoltória das edificações

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O processo metodológico ora aplicado foi uma revisão bibliográfica narrativa com alguns elementos para uma análise mais sistemática e crítica para identificar lacunas, utilizando-se de uma abordagem histórica, conceitual e tecnológica em fontes bibliográficas de qualidade

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Origem e história

O surgimento das coberturas verdes, como parte da estrutura de terra, remete pelo menos ao período Neolítico, com vestígios arqueológicos abrangendo um longo período (KRISTJANSDOTTIR ET AL., 2001; LOVEDAY, 2006 apud JIM, 2017). Os casos antigos principais são edifícios da realeza, aristocracia ou estabelecimentos religiosos. Nos tempos históricos, ruínas e exemplares construídos são do século IX d.C. (HOFFECKER, 2005 apud JIM, 2017). A inovação da 'turf house' foi iniciada e melhorada pelo povo nórdico, como consequência do clima ártico extremamente frio e à privação de recursos (SAWYER, 1997 apud JIM, 2017). No entanto, a referência utilizada usualmente sobre a história do telhado verde tende a ir do Jardim Suspenso da Babilônia em 500 aC (DALLEY, 2013

apud JIM, 2017) a alguns casos europeus medievais. Em seguida, pula para a modernização de materiais e designs na Alemanha na década de 1960 (K&hler; Keely, 2005; THURING; DUNNETT, 2014 apud JIM, 2017).

Assim, segundo Jim (2017), a invenção da agricultura no período Neolítico deixou como legado, a vida sedentária, exigindo abrigos mais permanentes, que evoluíram para a forma de casa com paredes e telhado inclinado. Com isso, o desenvolvimento de coberturas verdes tem sido interpretado a partir da somatória de esforços humanos para criar abrigos eficazes e práticos. Sua origem está na antiguidade, começando como uma tipologia de reboco de terra em uma estrutura de madeira para selar as lacunas, obtendo como resultado a maior capacidade de impermeabilização dos abrigos primitivos. O reboco de terra serviu (de forma involuntária), como um substrato para receber sementes providas da natureza sobre a qual uma cobertura vegetal poderia ser estabelecida, surgindo como consequência o telhado de prado espontâneo.

Com o decorrer do tempo, outras melhorias na estrutura do abrigo, trouxeram a casa com paredes e telhado, permitindo a transferência da habilidade aprendida de rebocar para o topo da habitação. Porém, rebocar o telhado inclinado com muitos pequenos pedaços de terra exigia um enorme esforço e um tempo considerável. Visando isso, cortar grama em tiras ou pedaços pode reduzir notavelmente os esforços pela instalação eficiente de solo e vegetação em uma ação. Com o esverdeamento 'instantâneo', o período de terra nua suscetível à erosão e perda do solo poderia ser evitado. Assim, o telhado de grama intencional é criado para substituir o telhado de prado espontâneo.





Figura 1 e 2: Imagens tiradas em 1899 da tradicional casa de grama chamada bababara construída por indígenas das Ilhas Aleutas, respectivamente na Ilha de Saint Paul e na Ilha de Wood.
Fonte: Jim (2017).

Para a construção do telhado de grama, é necessário a instalação de camadas de diferentes tipos de materiais, como indicado na figura 3. A primeira tem início com a construção da estrutura do telhado inclinado. Camadas sobrepostas de casca colhida de bétulas (espécie de Betula) seriam colocadas primeiro para fornecer a impermeabilização e proteger a madeira estrutural da umidade. A segunda camada é colocada na casca de bétula usando tiras de grama, com a grama voltada para baixo para diminuir seu crescimento. As folhas entre a casca e grama facilitaria a drenagem e protegeria a casca do húmus ácido do solo. A terra é colocada como a terceira camada. Com isso, a última camada é colocada com a grama voltada para cima (JIM, 2017).

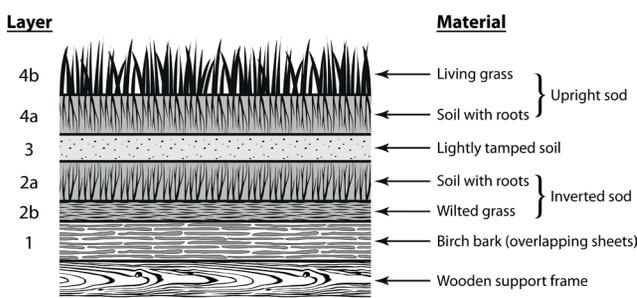


Figura 3: As múltiplas camadas utilizadas na construção do telhado de grama tradicional.
Fonte: Jim (2017).

4.2. Origem e história

O conceito de cobertura verde foi introduzido com o intuito de promover benefícios econômicos, sociais, ambientais e estéticos, para ter como resultado uma melhor qualidade de vida, principalmente no meio urbano. Esse tipo de cobertura vegetal é implantado com diversas plantas

e portes, que são inseridas em um substrato para se obter um meio de crescimento propício para o desenvolvimento. Como pode ser visto na figura 5, a estrutura básica é formada principalmente por essa vegetação e o substrato presente, camada filtrante, isolamento, material de drenagem, barreira radicular e membranas impermeabilizantes (JAMEI; CHAU; SEYEDMAHMOUDIAN; STOJCEVSKI, 2021).

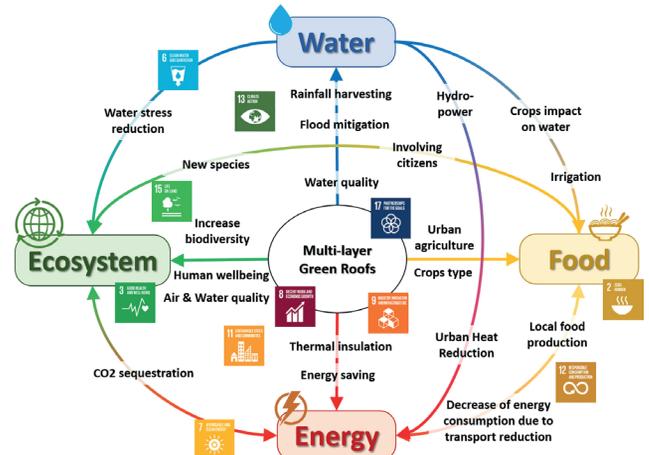


Figura 4: Esquema gráfico das coberturas verdes em relação os benefícios e contribuições para a sociedade.
Fonte: (CRISTIANO ET AL., 2021)



Figura 5: Principais componentes de uma cobertura verde.
Fonte: (JAMEI ET AL., 2021)

Esse tipo de cobertura é dividido em 4 categorias, as quais levam em consideração o peso, o custo de manutenção, a camada de substrato, os tipos de planta e a irrigação (GSA U.S., 2011 apud JAMEI ET AL., 2021). Com isso, são classificadas em intensivas, semi-intensivas, extensivas de uma camada e extensivas de várias camadas.

As coberturas verdes intensivas são aquelas que possuem a capacidade de suportar grande variedade de plantas devido a sua camada de crescimento mais profunda (com mais de 200mm), permitindo assim o cultivo de arbustos e até mesmo árvores. Porém, esse tipo de cobertura possui uma carga mais elevada, tendo assim a necessidade de uma adequada estrutura para suportar a sobrecarga gerada pelo carregamento sobre a edificação.

Com isso, não são todos os tipos de edificações que conseguem suportar esse tipo de cobertura vegetal. (GSA U.S., 2011 apud JAMEI ET AL., 2021).

Esse tipo de cobertura verde, como consequência de sua espessa camada de meio de crescimento, retém uma maior quantidade de água, permitindo assim um ambiente propício para diferentes tipos de plantas. Além desses fatos, as coberturas verdes intensivas necessitam de uma maior taxa de manutenção, principalmente para a irrigação, fertilização e capina, tendo com isso um maior custo de implantação. (GSA U.S., 2011 apud JAMEI ET AL., 2021).

As coberturas verdes extensivas, ou extensivas de uma camada, são coberturas vegetais compostas por uma camada de substrato menos espessa (70 a 100mm). Portanto, possuem um menor peso, suportando uma vegetação de pequeno porte. O “sedum L.” é muito utilizado como camada de vegetação nessas coberturas, necessitando de uma quantidade mínima de irrigação e manutenção. Fazendo assim, que as coberturas verdes extensivas de uma única camada terem o menor custo manutenção dentre todos os tipos de coberturas verdes. (VIJAYARAGHAVAN, 2016; SUSCA, 2019).

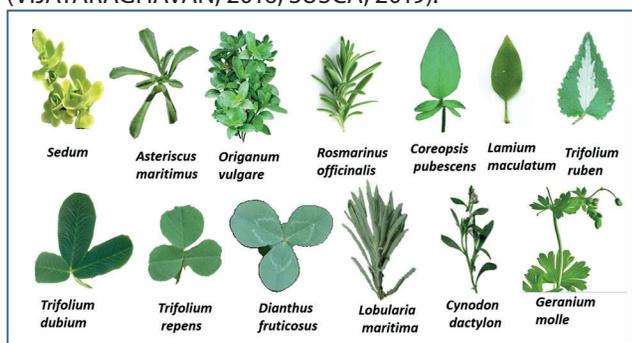


Figura 6: Exemplos de tipos de vegetação para uso em coberturas verdes.
Fonte: (SHAFIQUE; LOU; ZUO, 2021)

Uma das principais vantagens das coberturas verdes extensivas de uma camada é que esse tipo de cobertura permite a sua implantação na maioria das edificações e residências, não necessitando uma estrutura adicional para a sustentação na maior parte dos casos. Contudo esse tipo de cobertura não permite uma grande retenção de água e espaço para o desenvolvimento da vegetação, além de ter uma maior taxa de exposição ao sol e aos ventos (VIJAYARAGHAVAN, 2016; SUSCA, 2019).

Entretanto, as coberturas verdes de múltiplas camadas possuem um substrato também menos espesso e continuam com isso sendo mais leves. Esse tipo de cobertura verde é o mais utilizado ao redor de todo o mundo, devido ao seu peso mais leve, baixo custo de manutenção e baixa taxa de irrigação. (BEVILACQUA et al., 2016).



Figura 7: Exemplos de coberturas verdes sendo construídas atualmente. (a) Burnley Demonstration Green Roof, University of Melbourne (Julia Schiller), (b) Victorian Comprehensive Cancer Centre, Melbourne (Julia Schiller), (c) The Venny, Melbourne (John Rayner), (d) Victorian Desalination Plant, Wonthaggi (Leanne Hanrahan), (e) Yerrabingin Indigenous Rooftop Farm, Sydney (Junglety), (f) Anadara and Alexander Residences, Sydney, (g) 38 Westbury Street (Julia Schiller), (h) residência particular, Melbourne (Julia Schiller), (i) residência particular, Melbourne (Julia Schiller)

Fonte: (WILLIAMS et al., 2020)

Já as coberturas verdes semi-intensivas, possuem uma estrutura de substrato moderada (150 mm), composto de uma vegetação de menor porte, grama e arbustos. Esse tipo de cobertura é uma combinação de coberturas intensivas e extensivas, tendo assim uma menor demanda de manutenção comparado às coberturas intensivas. Contudo, precisam de um maior capital para se ter a melhora no desempenho térmico da edificação. (VIJAYARAGHAVAN, 2016; SUSCA, 2019).

4.3. Coberturas verdes fotovoltaicas:

Buscando-se obter os benefícios que as coberturas verdes proporcionam, junto com a produção de energia limpa, existe a cobertura verde fotovoltaico, em que se tem a integração das coberturas verdes junto com os sistemas fotovoltaicos. Um estudo desenvolvido por Köehler et al. (2007), em Berlim, mostrou-se com os resultados que a cobertura verde fotovoltaica tem a capacidade de resfriar a temperatura da superfície fotovoltaica e produzir 6 % mais de eletricidade comparado com a cobertura normal de betume.

Segundo Hui e Chan (2011) apud Shafique et al. (2020), a integração de um sistema fotovoltaico com uma cobertura verde, produz até 8,3% do consumo total de energia do edifício, dependendo de determinados fatores, como as condições climáticas.

A poeira é um fator importante para se considerar nos estudos do sistema fotovoltaico (MANI; PILLAI, 2010), já que o acúmulo de poeira nas placas do sistema

fotovoltaico corrói a transmitância do vidro, reduzindo assim a capacidade de desempenho do sistema fotovoltaico (SAID; WALWIL, 2014). As plantas que compõem as coberturas verdes, podem capturar essas partículas finas de poeira, e com isso filtrar e limpar o ar que circunda o sistema (YANG ET AL., 2008), permitindo o melhor funcionamento do sistema fotovoltaico.

O sistema fotovoltaico integrado com a cobertura verde sombreia a superfície da cobertura, e com isso diminui a temperatura do solo e a temperatura interna da edificação (OSMA-PINTO; ORDÓÑEZ-PLATA, 2019). Outro fator importante que se deve considerar é que a altura de separação entre a cobertura verde e o sistema fotovoltaico, segundo Ogaili e Sailor (2016), é um fator muito importante que aumenta o aprimoramento da energia fotovoltaica. Além disso, é muito importante a escolha de plantas que não sejam afetadas pelo efeito de sombreamento gerado pelo sistema fotovoltaico.

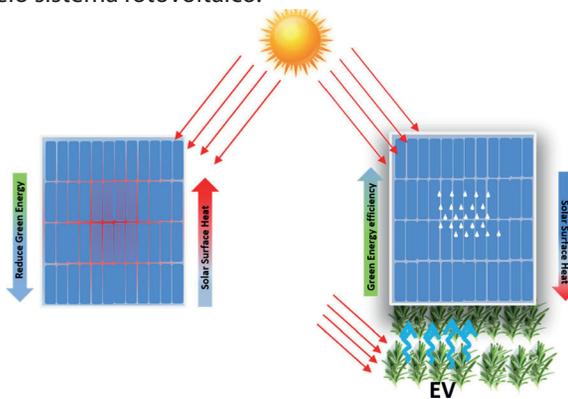


Figura 8: Esquema ilustrado do mecanismo de uma cobertura verde fotovoltaica.
Fonte: (SHAFIQUE; LOU; ZUO, 2020)

Com isso, percebe-se que a junção das coberturas verdes com os sistemas fotovoltaicos produz uma série de benefícios, porém ainda se tem lacunas de conhecimento sobre seus benefícios em países em desenvolvimento, dificultando a sua aplicação em larga escala, além de ter um elevado custo total de aplicação do sistema (SHAFIQUE ET AL., 2020).



Figura 9: Exemplo de uma cobertura verde fotovoltaica.
Fonte: (SHAFIQUE; LOU; ZUO, 2020)

4.4. Benefícios das coberturas verdes

O modo de vida sustentável e a reciclagem de determinados materiais também estão ligados ao conceito de coberturas verdes. Segundo Astee e Kishnani (2010), a agricultura urbana em coberturas verdes pode contribuir para suprir a demanda de alimentos, em que além de todos os benefícios que as coberturas verdes fornecem para a edificação, ela também pode gerar alimentos para a população. Levando em consideração o substrato utilizado, materiais de construção reciclados e subprodutos gerados pela indústria como tijolos triturados e cinzas de carvão, podem ser utilizados no substrato, reduzindo os impactos negativos para o ambiente, já que os impactos de sua fabricação são contabilizados no uso primário, mas a quantidade de energia necessária para triturar esses materiais deve ser considerada no processo (SCOLARO ET AL., 2022).

Dentre os benefícios das coberturas verdes, o escoamento de águas pluviais é um deles. Diferente das coberturas tradicionais, em que a água proveniente das chuvas escoava, nas coberturas verdes a água da chuva entra em um sistema hidrológico complexo (LAMBRINOS, 2015 apud ZHENG ET AL., 2021), em que o sistema retém água por meio da vegetação, substrato e materiais estratificados, aumentando a capacidade de retenção de escoamento para um melhor gerenciamento das águas pluviais, fazendo assim que a cobertura desacelere o escoamento da água, aliviando com isso, como consequência a pressão sobre a gestão das águas pluviais urbanas, reduzindo os fluxos de pico. A purificação da água de escoamento é outro benefício proporcionado pelas coberturas verdes: de acordo com Liu et al. (2021), as coberturas verdes atuam como agentes purificadores, em que seu substrato possui uma capacidade de absorção considerável de Al, Fe, Cr, Cu, Ni, Zn, Cd, Pb e outros íons metálicos, além de também neutralizar a acidez da água das chuvas, já que o pH da água proveniente das chuvas, na maioria das vezes, é menor que o do substrato.

Um estudo de caso comparativo realizado em dois telhados adjacentes no topo de edifícios recentemente construídos no centro de Sydney, mostrou que as coberturas verdes também promovem a biodiversidade metropolitana (WOOSTER ET AL., 2022). Por meio de armadilhas fotográficas e levantamentos, verificou-se um maior número de espécies encontradas nas coberturas verdes em comparação com a cobertura convencional. Foram encontrados quatro aves, dois gastrópodes e 26 espécies de artrópodes no telhado verde em comparação com um,

zero e três na cobertura convencional, respectivamente. Durante o período de estudo, não se observou nenhuma espécie de gastrópodes na cobertura convencional, mas números consideráveis na cobertura verde, sendo elas a lesma-leopardo e o caramujo-comum (*Cantareus asperus*). Com isso, verifica-se que as coberturas verdes podem atrair e sustentar uma biodiversidade maior do que as coberturas convencionais, mostrando que esses tipos de coberturas são importantes refúgios ecológicos em áreas urbanas (WOOSTER ET AL., 2022).

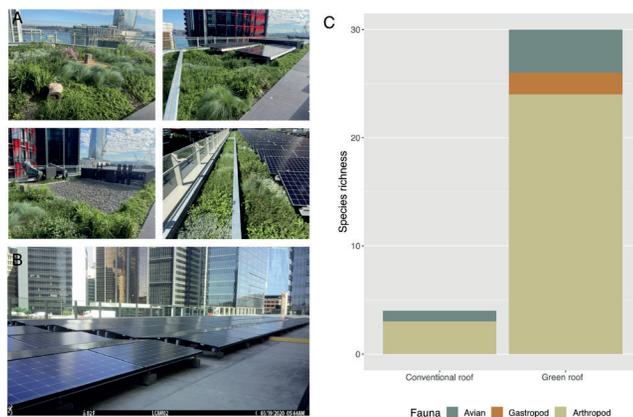


Figura 10: EA- imagens das principais áreas da cobertura verde. B- Imagens do telhado convencional. C- Gráfico da Diversidade de comunidades de aves, artrópodes e gastrópodes em telhados Verde e Convencionais.
Fonte: (WOOSTER ET AL., 2022)

As coberturas verdes também auxiliam na redução do consumo de energia da edificação em que estão situadas. Elas reduzem a radiação solar direta, refletindo aproximadamente de 20% a 30% dela, além de absorver 60% dessa energia. A vegetação dessas coberturas reduz a temperatura do ambiente por meio de processos de evapotranspiração, absorvem a energia térmica por meio da fotossíntese e criam uma área de sombreamento, protegendo o solo da radiação solar. O solo também é uma importante ferramenta para reduzir o consumo de energia, já que cria um bom isolamento térmico para a construção, por possuir uma baixa transmitância térmica (BERNARDI ET AL., 2014).

Efeito albedo, é uma propriedade que descreve a quantidade de radiação solar que uma determinada superfície reflete de volta para a atmosfera. Assim, quanto maior o albedo de uma superfície, mais radiação solar é refletida e menos é absorvida. Uma pesquisa comparando a refletividade da radiação de superfície (albedo) de coberturas brancas e coberturas verdes mostrou que a tinta branca registrou um albedo de 0,8 em média, porém é difícil se manter albedos altos em superfícies brancas sem lavagem regular, registrando assim uma diminuição de albedo de 0,15 em um ano (GAFFIN ET AL., 2006 apud

LI; YEUNG, 2014). Já pelo contrário as coberturas verdes registraram um albedo equivalente de 0,7–0,85 (GAFFIN ET AL., 2006 apud LI; YEUNG, 2014), melhorando, como consequência, o desempenho térmico da edificação.

A melhor eficiência energética permite uma diminuição de gastos, mas também beneficia um desenvolvimento sustentável. Pesquisas realizadas sobre coberturas verdes (JIM; 2017, RAN; TANG, 2018, YANG ET AL.; 2015) demonstram diversos benefícios sociais, econômicos e ambientais, como o aumento das atividades de recreação, a melhoria estética, além dos benefícios já citados anteriormente. Resultados de um estudo do Hospital Infantil Lady Cilento, em Brisbane/Austrália, mostraram que espaços que contenham coberturas verdes, paredes e fachadas verdes proporcionam para os pacientes, funcionários e visitantes do hospital um alívio emocional (REEVE ET AL., 2006).

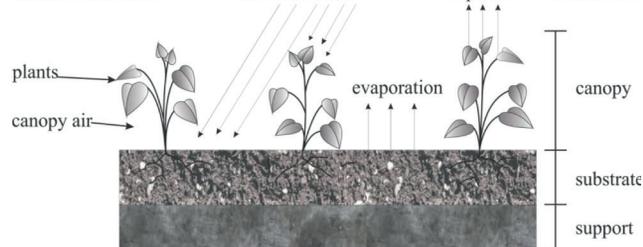


Figura 11: Corte esquemático transversal de uma cobertura verde.
Fonte: (QUEZADA GARCÍA ET AL., 2020)

2017).

Analisando-se a estrutura de uma cobertura verde, notasse que, segundo Zhang et al. (2022), a espessura da camada de solo é a qual possui um maior impacto no desempenho térmico da cobertura verde. A espessura da camada do solo pode, além de interceptar a água da chuva e fornecer umidade necessária para o crescimento da vegetação, desempenhar um papel na preservação do calor e no isolamento do telhado como se observa nas tabelas 1 e 2. Com base em simulações utilizando o EnergyPlus (ferramenta de software de análise de energia de edifícios), verifica-se que as coberturas verdes podem reduzir de maneira significativa o consumo anual de energia dos edifícios, com maior ênfase nos andares superiores. Uma análise realizada em um clima subtropical de monção, o consumo de energia da edificação com cobertura verde possuindo uma espessura de camada de solo de 200 mm, possui uma economia de 30,2% a 56,4% do consumo de energia ao longo do ano.

Com os fatos citados acima, verifica-se que as coberturas verdes possuem um caráter significativo no alívio do efeito de ilha de calor, mais especificamente na época do verão. Com a temperatura do ar de 30°C no verão,

Functional area	Thickness/mm	Spring	Summer	Autumn	Winter	Annual energy consumption
Hospital	100	3.73	20.77	3.99	0.00	28.50
	150	3.57	19.87	4.08	0.00	27.52
	200	3.55	19.24	4.10	0.00	26.89
	0	6.71	51.35	6.94	0.00	65.00
Business area	100	2.50	14.64	2.89	0.00	20.03
	150	2.55	14.80	3.12	0.00	20.47
	200	2.56	14.86	3.32	0.00	20.75
	0	2.86	31.29	3.23	0.00	27.38
Residential area	100	2.82	15.84	2.95	0.00	21.61
	150	2.79	15.55	3.13	0.00	21.46
	200	2.79	15.39	3.27	0.00	21.45
	0	2.10	20.58	2.07	0.00	24.75

Tabela 1: Consumo de energia de refrigeração/KWh-m⁻²
Fonte: (Zhang et al. (2022))

Functional area	Thickness/mm	Spring	Summer	Autumn	Winter	Annual energy consumption
Hospital	100	0.37	0.00	0.22	10.26	10.85
	150	0.22	0.00	0.06	8.55	8.83
	200	0.10	0.00	0.00	7.37	7.47
	0	2.79	0.00	2.02	9.08	13.89
Business area	100	0.26	0.00	0.06	6.56	6.88
	150	0.17	0.00	0.02	5.72	5.91
	200	0.06	0.00	0.01	5.12	5.19
	0	1.39	0.00	1.00	8.64	11.03
Residential area	100	0.21	0.00	0.18	7.71	8.10
	150	0.13	0.00	0.05	6.72	6.90
	200	0.06	0.00	0.00	5.98	6.04
	0	1.86	0.00	1.22	11.59	14.67

Tabela 2: Consumo de energia de aquecimento/KWh-m⁻²
Fonte: (Zhang et al. (2022))

a temperatura de um telhado tradicional chega a 65°C, enquanto a temperatura de um telhado verde é de 37°C, notando-se uma diferença de 28°C (ZHANG ET AL., 2022). Já no inverno, analisa-se um efeito de menor intensidade sobre o desempenho térmico das coberturas verdes. Nas épocas mais frias, a diferença média de temperatura entre a cobertura tradicional e a cobertura verde é de apenas 1,2°C (ZHANG ET AL., 2022).

Verificando um estudo de desempenho térmico e consumo de energia de oito tipos de telhados verdes extensivos em um clima subtropical de monção (ZHANG ET AL., 2022), as temperaturas anuais do telhado tradicional (Tr) e do telhado verde (T0, Tb) foram expressas na figura 12 a seguir. Na época do verão, verifica-se que o intervalo de distribuição e temperatura média do diagrama de caixa de telhados tradicionais são significativamente maiores do que os de T0 e Tb. Com isso, a diferença de

temperatura média entre Tr e a cobertura verde (T0 e Tb) é de 6,8°C e 6,9°C, respectivamente. Conclui-se com isso, que no verão, uma cobertura verde pode reduzir a temperatura de maneira significativa da superfície do edifício e do último andar da edificação, melhorando o conforto de vida das pessoas. Já na época do outono e da primavera, a diferença média de temperatura entre Tr e o telhado verde (T0 e Tb) está entre 2,1°C e 2,3°C. No inverno, os valores aproximados de T0 e Tb foram de 15,9 °C e 16,4°C, respectivamente. As diferenças médias de temperatura deles com o telhado tradicional foi de 1,8°C e 1,3°C, respectivamente. Portanto, o telhado verde possui um efeito mínimo de desempenho térmico na época do inverno (ZHANG ET AL., 2022).

As coberturas verdes também contribuem para o isolamento acústico e a redução de ruídos na edificação. Um estudo mediu a perda de transmissão sonora de um

telhado de referência (tipo convencional) e dois telhados verdes (CONNELLY; HODGSON, 2008). Estes eram idênticos, tendo apenas como diferença o tamanho da profundidade do substrato (75mm para a cobertura verde 1 e 150mm para cobertura verde 2). Verificou-se então que o aumento da perda de transmissão por meio da cobertura verde 1 em diferentes frequências foi menos consistente, enquanto o mesmo aumento da perda de transmissão por meio da cobertura verde 2 teve melhor eficácia. Os resultados também demonstram que a cobertura verde mais profunda aumentou a perda de transmissão de 5dB para 13dB nas bandas de frequência baixa e média (50Hz – 2000Hz) e de menos de 6dB nas frequências mais altas

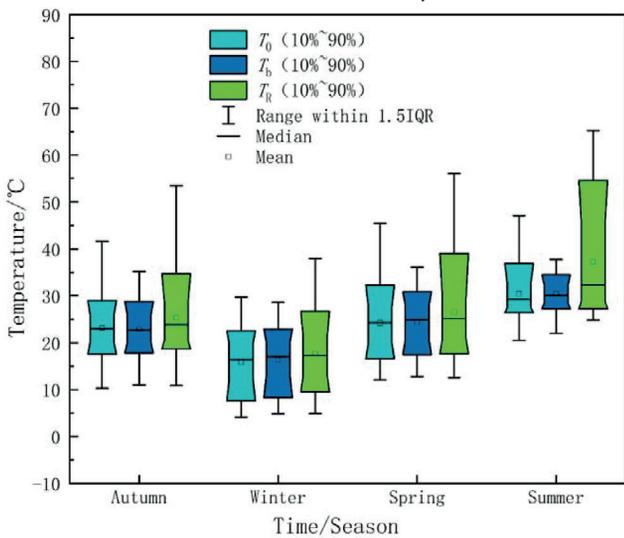


Figura 12: Gráfico da variação de temperatura entre o telhado tradicional (T_r) e a cobertura verde (T_0 e T_b) com o decorrer do tempo.
Fonte: Zhang et al. (2022)

(CONNELLY; HODGSON, 2008).

Com isso serão benéficas as medidas que incentivem a construção de coberturas verdes nas edificações. Para isso, ferramentas políticas são essenciais para a ação desse tipo de cobertura.

Descontos, subsídios e incentivos públicos podem acelerar a instalação desse sistema e impulsionar um maior desenvolvimento sustentável. Cidades que adotaram essas medidas possuem taxas maiores de instalação de coberturas verdes (como se se observa no gráfico da figura 13 a seguir), segundo Stern et al. (2019) e Wilkinson et al. (2017) apud Williams et al. (2021).

Para se obter um eficiente resultado na construção de coberturas verdes, é de extrema importância realizar a análise das condições climáticas e naturais da região para chegar a um resultado de qual é o tipo de vegetação mais adequado para ser empregada. Porém, deve-se também analisar as especificações da cobertura verde para a adaptações das plantas: a espessura da cobertura para o

desenvolvimento das raízes, verificando se ele é adequado para plantas de pequeno, médio ou grande porte; se a cobertura possui ou não um sistema de irrigação; entre

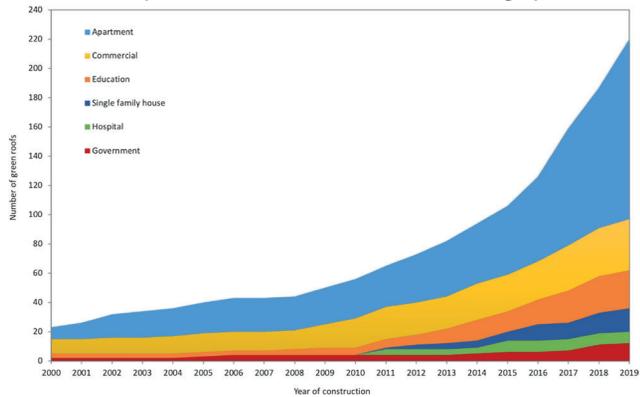


Figura 13: Número de coberturas verdes (intensivos e extensivos) construídos em diferentes tipos de edifícios na região metropolitana de Melbourne desde 2000.
Fonte: (WILLIAMS et al., 2021)

outras características (SHAFIQUE ET AL., 2020).

Segundo Liu e Huang (2005), em coberturas verdes situados em um clima seco e sem um sistema de irrigação, além da seca, as plantas devem ser adaptadas a irradiação solar e a elevadas temperaturas do substrato e do ar, porém ainda é baixo o número de estudos realizados sobre a tolerância térmica das plantas e o efeito do calor nas plantas da cobertura verde. No verão, para se obter um melhor resultado de resfriamento da edificação por meio da cobertura verde, é indicado se utilizar plantas de um maior desenvolvimento foliar, já que assim tem com resultado uma baixa transmissão de radiação solar. No entanto, no inverno essas escolhas sobre o tipo de vegetação podem limitar o isolamento térmico da edificação

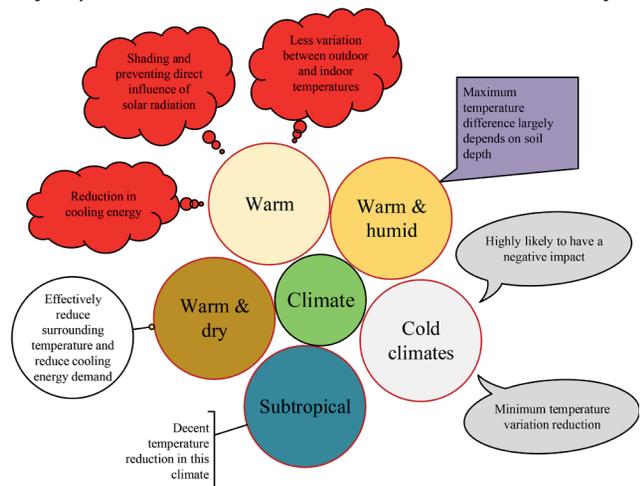


Figura 14: Relação entre o tipo de clima e o desempenho da cobertura verde em cada um deles.
Fonte: (ALIM ET AL., 2022)

(CRISTIANO ET AL., 2021).

4.5. Dificuldades

Contudo, existem barreiras e impedimentos para a construção desse tipo de cobertura. A falta de políticas públicas (vale ressaltar que, segundo Xiao et al., 2014, as políticas públicas são as ferramentas mais eficazes para a implementação de iniciativas de sustentabilidade urbana), recursos econômicos inadequados, nível tecnológico impróprio, tipo de construção, declividade do terreno, tipo de vegetação, falta de acessibilidade, além de edificações mais antigas que não possuem estruturas adequadas para suportar a carga da cobertura verde. As plantas também selecionadas para a composição da cobertura verde podem gerar bactérias e mosquitos que podem causar transtornos para os moradores locais. Além disso, os materiais de cobertura, se não forem devidamente usados podem se tornar uma fonte de poluição para o meio ambiente (SPEAK ET AL.; 2014).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com isso, conclui-se que as coberturas verdes, utilizadas desde a antiguidade e aperfeiçoadas até os dias atuais, geram diversos benefícios. Tais benefícios nas mais diversas áreas, como sustentabilidade; eficiência energética; melhoria na qualidade de vida; econômicos; isolamento acústico; lazer; conforto; sociais; desempenho ambiental; estéticos dentre vários outros. Entretanto, ainda falta a implementação de políticas governamentais que incentivem a implementação desse tipo de cobertura no meio urbano e estudos mais avançados sobre os efeitos das coberturas verdes no cotidiano da população, para que seja feita uma análise de maneira mais completa para que o investimento na construção de coberturas verdes seja viável.

Por fim, salienta-se que este trabalho objetivou reunir os conceitos, aplicações e desempenhos estudados atualmente para identificar lacunas que indiquem caminhos para novas pesquisas e temas relevantes para a indústria da construção civil sustentável. O trabalho cumpriu seu objetivo ao indicar que devem ser buscados projetos monitoramentos e avaliações de desempenhos para além das tradicionais justificativas das coberturas verdes, como, por exemplo, um simples paisagismo ou pelo sequestro de carbono.

REFERÊNCIAS

- AALIM, Mohammad A. et al. Green roof as an effective tool for sustainable urban development: an Australian perspective in relation to stormwater and building energy management. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 362, p. 132561, ago. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132561>.
- ASTEE, Lim Yinghui; KISHNANI, Nirmal T. Building Integrated Agriculture: utilizing rooftops for sustainable food crop cultivation in singapore. **Journal Of Green Building**, [S.L.], v. 5, n. 2, p. 105-113, 1 maio 2010. College Publishing. <http://dx.doi.org/10.3992/jgb.5.2.105>.
- BERARDI, Umberto; GHAFARIANHOSEINI, Amirhosein; GHAFARIANHOSEINI, Ali. State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. **Applied Energy**, [S.L.], v. 115, p. 411-428, fev. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.10.047>.
- BEVILACQUA, Piero; MAZZEO, Domenico; BRUNO, Roberto; ARCURI, Natale. Experimental investigation of the thermal performances of an extensive green roof in the Mediterranean area. **Energy and Buildings**, [S.L.], v. 122, p. 63-79, jun. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.03.062>
- CONNELLY, M.; HODGSON, M. Perda de transmissão sonora de telhados verdes extensivos - resultados de testes de campo. **Acústica canadense**, [S.L.], v. 36, n.3, pág. 74-75, 2008. Disponível em: <https://jcaa.caa-aca.ca/index.php/jcaa/article/view/2044>. Acesso em: 30 mar. 2023.
- CRISTIANO, Elena et al. The role of green roofs in urban Water-Energy-Food-Ecosystem nexus: a review. **Science of the Total Environment**, [S.L.], v. 756, p. 143876, fev. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143876>.
- JAMEI, Elmira et al. Review on the cooling potential of green roofs in different climates. **Science of the Total Environment**, [S.L.], v. 791, p. 148407, out. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148407>.
- JIM, C.y.. An archaeological and historical exploration of the origins of green roofs. **Urban Forestry & Urban Greening**, [S.L.], v. 27, p. 32-42, out. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2017.06.014>.

JIM, C.V.. Green roof evolution through exemplars: germinal prototypes to modern variants. **Sustainable Cities and Society**, [S.L.], v. 35, p. 69-82, nov. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2017.08.001>.

LI, W.C.; YEUNG, K.K.A.. A comprehensive study of green roof performance from environmental perspective. **International Journal Of Sustainable Built Environment**, [S.L.], v. 3, n. 1, p. 127-134, jun. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2014.05.001>.

LIU, Hongqing; KONG, Fanhua; YIN, Haiwei; MIDDEL, Ariane; ZHENG, Xiandi; HUANG, Jing; XU, Hairong; WANG, Ding; WEN, Zhihao. Impacts of green roofs on water, temperature, and air quality: a bibliometric review. **Building and Environment**, [S.L.], v. 196, p. 107794, jun. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107794>.

LIU, X; HUANG, B. Root physiological factors involved in cool-season grass response to high soil temperature. **Environmental and Experimental Botany**, [S.L.], v. 53, n. 3, p. 233-245, jun. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.03.016>.

MANI, Monto; PILLAI, Rohit. Impact of dust on solar photovoltaic (PV) performance: research status, challenges and recommendations. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S.L.], v. 14, n. 9, p. 3124-3131, dez. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.065>.

OSMA-PINTO, German; ORDÓÑEZ-PLATA, Gabriel. Measuring factors influencing performance of rooftop PV panels in warm tropical climates. **Solar Energy**, [S.L.], v. 185, p. 112-123, jun. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2019.04.053>

QUEZADA-GARCÍA, S.; ESPINOSA-PAREDES, G.; POLO-LABARRIOS, M.A.; ESPINOSA-MARTÍNEZ, E.G.; ESCOBEDO-IZQUIERDO, M.A. Green roof heat and mass transfer mathematical models: a review. **Building and Environment**, [S.L.], v. 170, p. 106634, mar. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106634>.

RAN, Jiandong; TANG, Mingfang. Passive cooling of the green roofs combined with night-time ventilation and walls insulation in hot and humid regions. **Sustainable Cities and Society**, [S.L.], v. 38, p. 466-475, abr. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2018.01.027>.

REEVE, Angela et al. Healing gardens in children's hospitals: reflections on benefits, preferences and design from visitors books. **Urban Forestry & Urban Greening**, [S.L.], v. 26, p. 48-56, ago. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2017.05.013>.

SAID, Syed A.M.; WALWIL, Husam M.. Fundamental studies on dust fouling effects on PV module performance. **Solar Energy**, [S.L.], v. 107, p. 328-337, set. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2014.05.048>

SCOLARO, Taylana Piccinini et al. Life cycle assessment of green roofs: a literature review of layers materials and purposes. **Science of the Total Environment**, [S.L.], v. 829, p. 154650, jul. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154650>.

SHAFIQUE, Muhammad; LUO, Xiaowei; ZUO, Jian. Photovoltaic-green roofs: a review of benefits, limitations, and trends. **Solar Energy**, [S.L.], v. 202, p. 485-497, maio 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2020.02.101>

SPEAK, A.F. et al. Metal and nutrient dynamics on an aged intensive green roof. **Environmental Pollution**, [S.L.], v. 184, p. 33-43, jan. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2013.08.017>.

SUSCA, Tiziana. Green roofs to reduce building energy use? A review on key structural factors of green roofs and their effects on urban climate. **Building and Environment**, [S.L.], v. 162, p. 106273, set. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106273>.

VIJAYARAGHAVAN, K.. Green roofs: a critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S.L.], v. 57, p. 740-752, maio 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.119>.

WILLIAMS, Nicholas S.G. et al. Ten years of greening a wide brown land: a synthesis of Australian green roof research and roadmap forward. **Urban Forestry & Urban Greening**, [S.L.], v. 62, p. 127179, jul. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127179>

WOOSTER, E.I.F. et al. Urban green roofs promote metropolitan biodiversity: a comparative case study. **Building and Environment**, [S.L.], v. 207, p. 108458, jan. 2022. Elsevier

BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108458>.

XIAO, Min et al. A review of green roof research and development in China. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S.L.], v. 40, p. 633-648, dez. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.147>.

YANG, Jun; YU, Qian; GONG, Peng. Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. **Atmospheric Environment**, [S.L.], v. 42, n. 31, p. 7266-7273, out. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.07.003>.

YANG, Wansheng; WANG, Zhangyuan; CUI, Junjie; ZHU, Zishang; ZHAO, Xudong. Comparative study of the thermal performance of the novel green (planting) roofs against other existing roofs. **Sustainable Cities and Society**, [S.L.], v. 16, p. 1-12, ago. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2015.01.002>.

ZHANG, Kexin et al. Thermal performance and energy consumption analysis of eight types of extensive green roofs in subtropical monsoon climate. **Building and Environment**, [S.L.], v. 216, p. 108982, maio 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.108982>.

ZHANG, Gaochuan; HE, Bao-Jie. Towards green roof implementation: drivers, motivations, barriers and recommendations. **Urban Forestry & Urban Greening**, [S.L.], v. 58, p. 126992, mar. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2021.126992>.

ZHENG, Xinzhu; ZOU, Yicheng; LOUNSBURY, Amanda W.; WANG, Can; WANG, Ranran. Green roofs for stormwater runoff retention: a global quantitative synthesis of the performance. **Resources, Conservation And Recycling**, [S.L.], v. 170, p. 105577, jul. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105577>

COMO CITAR ESTE ARTIGO

OKIMOTO, Fernando Sérgio; MELLO, Leonardo Ferreira. Coberturas verdes: conceito, aplicação e desempenho. **MIX Sustentável**, v. 9, n. 3, p. 159-170, 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.n3.159-170>>.

SUBMETIDO EM: 30/01/2023

ACEITO EM: 07/05/2023

PUBLICADO EM: 30/07/2023

EDITORES RESPONSÁVEIS: Aguinaldo dos Santos e Lisiane Ilha Librelotto

Registro da contribuição de autoria:

FSO: Conceituação, Investigação, Metodologia, Administração de projetos, Validação, Visualização, Escrita - revisão e edição.

LFM: Conceituação, Investigação, Metodologia, Administração de projetos, Validação, Visualização, Escrita - rascunho original.

Declaração de conflito: nada foi declarado.

UMA VISÃO GERAL SOBRE OS GREEN BONDS NO CENÁRIO PANDÊMICO DE 2020

AN OVERVIEW OF GREEN BONDS IN THE 2020 PANDEMIC SCENARIO

UNA VISIÓN GENERAL DE LOS GREEN BONDS EN EL ESCENARIO PANDÉMICO DE 2020

THAIS GUEDES MÁXIMO MONTEIRO | UERJ - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil
VICTOR HUGO SOUZA DE ABREU | UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil
ANDREA SOUZA SANTOS, Dra. | UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil

RESUMO

Bancos e investidores estão cada vez mais atentos a projetos que implementem pautas ambientais, sociais e de governança, denotando real preocupação com presente e futuro. Nesse sentido, os Green Bonds têm sido utilizados como instrumentos financeiros de mobilização e incentivo para as empresas, promovendo o estímulo de ações que beneficiem diretamente o meio ambiente. Em 2020, com a disseminação mundial da Pandemia do COVID-19, empresas tiveram suas atividades paralisadas abruptamente, sendo necessárias novas ponderações, planejamentos e condutas, no sentido de adequar-se à conjuntura imposta. O presente estudo tem por objetivo discorrer acerca do mercado de Green Bonds no cenário pandêmico de 2020 e identificar a existência de regressão, estagnação ou fortalecimento das emissões. Metodologicamente, o artigo estrutura-se através de um extenso levantamento bibliográfico embasado por relatórios e periódicos, com o objetivo de abarcar a solidez do mercado quando confrontado pela agressividade e prolongamento de um vírus que acometeu todo o mundo. Os resultados mostram uma promoção de Green Bonds recorde em 2020, em acordo com o caminho delineado no Acordo de Paris. Além disso, destaca-se que os países que mais emitem Green Bonds são os Estados Unidos, Alemanha e França, todos com mercado desenvolvido. Entretanto, tem-se notado um crescimento de emissão de Green Bonds em países emergentes, com destaque para China.

PALAVRAS-CHAVE

Green Bonds; mudanças climáticas; Acordo de Paris; desenvolvimento sustentável.

ABSTRACT

Banks and investors are increasingly attentive to projects that implement environmental, social and governance guidelines, denoting a real concern for the present and the future. Thus, Green Bonds have been used as financial instruments to mobilize and encourage companies, promoting the stimulation of actions that directly benefit the environment. In 2020, with the worldwide spread of COVID-19 Pandemic, companies had their activities abruptly paralyzed, requiring new considerations, planning and conduct, to adapt to the imposed situation. The present study aims to discuss the Green Bonds market in the 2020 pandemic scenario and identify whether there was a regression, stagnation or strengthening of emissions. Methodologically, the article is structured through an extensive bibliographic survey based on reports and periodicals, with the objective of embracing the solidity of the market when confronted by the aggressiveness and prolongation of a virus that has affected the whole world. The results show a record Green Bonds promotion in 2020, in line with the path outlined in the Paris Agreement. In addition, it is noteworthy that the countries that issue the most Green Bonds are the United States, Germany, and France, all



of which have developed markets. However, there has been a growth in the issuance of Green Bonds in emerging countries, especially China.

KEYWORDS

Green Bonds; climate changes; Paris Agreement; sustainable development.

RESUMEN

Los bancos y los inversores están cada vez más atentos a los proyectos que aplican directrices medioambientales, sociales y de gobernanza, lo que denota una verdadera preocupación por el presente y el futuro. En este sentido, los Green Bonds han sido utilizados como instrumentos financieros de movilización e incentivo para las empresas, promoviendo el estímulo de acciones que beneficien directamente al medio ambiente. En 2020, con la diseminación mundial de la Pandemia del COVID-19, las empresas tuvieron sus actividades abruptamente paralizadas, exigiendo nuevas consideraciones, planeamientos y conductas, para adaptarse a la coyuntura impuesta. Este estudio pretende analizar el mercado de Green Bonds en el escenario pandémico de 2020 e identificar la existencia de regresión, estancamiento o fortalecimiento de las emisiones. Metodológicamente, el artículo se estructura a través de un amplio estudio bibliográfico basado en informes y publicaciones periódicas, con el objetivo de abarcar la solidez del mercado frente a la agresividad y extensión de un virus que ha afectado a todo el mundo. Los resultados muestran una promoción récord de los Green Bonds en 2020, de acuerdo con la senda trazada en el Acuerdo de París. Además, los países que más bonos verdes emiten son Estados Unidos, Alemania y Francia, todos ellos con mercados desarrollados. Sin embargo, se ha producido un crecimiento en la emisión de Bonos Verdes en los países emergentes, especialmente en China

PALABRAS CLAVE

Green Bonds; cambio climático; Acuerdo de París; desarrollo sostenible.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a Análise de Mercado América Latina & Caribe 2021, um relatório elaborado pela Climate Bonds Initiative (CBI) com o apoio do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) e da International Finance Corporation (IFC), os Green Bonds são instrumentos de dívida utilizados para financiar projetos, ativos e atividades que promovam a mitigação e adaptação às mudanças climáticas. Podem ser emitidos por governos federais, estaduais ou municipais, bancos ou empresas. O mais importante é que os recursos procedentes da emissão sejam alocados somente para o financiamento de ativos, projetos e/ou atividades que sejam verdes, ou seja, realmente sustentáveis (Climate Bonds Initiative, 2021).

Em 2007, o European Investment Bank emitiu o seu primeiro Título de Conscientização Climática (Climate Awareness Bond, em inglês), trazendo luz a uma questão preocupante, tratada de forma paliativa por grandes investidores até então: a urgência da mitigação dos Gases do Efeito Estufa (GEE) e adaptação às mudanças climáticas através do comprometimento de bancos e investidores em seus projetos e financiamentos (European Investment Bank, 2008). Desde então, o mercado de Títulos Verdes ou Green Bonds se desenvolveu e passou a incluir investimentos heterogêneos em áreas como agronegócio, geração de energia alternativa, recuperação de florestas, transportes, entre outros (ICMA, 2021).

No ano de 2015, foi sediada em Paris a COP21, um evento que fazia parte da agenda da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima. Essa reunião teve como objetivo principal a formalização de um acordo onde todas as nações signatárias contribuiriam individualmente para limitar o aumento da temperatura do planeta em até 2°C (United Nations, 2015). Dessa forma, cada país teve como responsabilidade reunir uma lista, conhecida como Contribuições Nacionalmente Determinadas (Nationally Determined Contributions - NDCs, em inglês), onde se comprometeriam diretamente para o atingimento da meta.

Com base nessas contribuições, o Acordo de Paris foi instituído e, a partir da definição dessas metas assumidas pelas nações signatárias, surgiu a necessidade de financiamento para colocá-las em prática. Embora os Green Bonds já existissem, eles passaram a ter maior visibilidade quando esses países-membros se comprometeram a intensificar as ações e os investimentos em busca de uma economia de baixo carbono sem a perda do desenvolvimento.

No momento em que as empresas e os investidores abraçaram a urgência dos riscos inerentes às mudanças climáticas, o modo de se relacionarem com os recursos naturais também mudou. Sinalizando um crescente envolvimento com pautas sustentáveis, os consumidores demonstram cada vez mais interesse por produtos fabricados onde a preocupação em proteger, preservar e melhorar os recursos naturais, necessários para o futuro, é uma realidade (Labuschagne, Bert & Van Erck, 2005). Essa sustentabilidade, utilizada também como estratégia corporativa, é resultado de um processo histórico. De forma a aumentar a rapidez com que respondem às mudanças do mercado, o ambiente dos negócios levou as empresas a tornarem-se cada vez mais flexíveis. Sendo assim, ao longo dos anos a sustentabilidade resultou em uma eficiente ferramenta de demonstração relacionada diretamente ao desempenho positivo das empresas nas esferas econômica, social e ambiental (Yagasaki & Martins, 2012).

Desse modo, também, várias empresas passaram a incorporar o conceito de sustentabilidade em suas gestões visando, entre outros motivos, ganho reputacional e vantagem na captação de recursos financeiros, além do aumento considerável no valor de suas ações no mercado (Luene-burger & Goleman, 2010). Ser sustentável deixou de ser uma opção, e tornou-se uma forma inteligente de manter-se ativo em um mercado exigente com a pauta ambiental (Batista, 2021).

Com sinais cada vez mais claros de que o homem precisa rever o modo de se relacionar com a natureza, os Green Bonds estão sendo utilizados como instrumentos na linha de frente dos mercados financeiros, ao cumprirem o papel de captadores de recursos para projetos que abracem a causa ambiental (De Assis et al., 2022a; b). Dessa forma, o presente trabalho abordará os Green Bonds em 2020 e como continuam as gestões desses ativos em uma pandemia que afligiu a todos - sem exceções.

Para cumprir seus objetivos, este estudo encontra-se estruturado da seguinte forma. A Seção 2 apresenta a metodologia necessária para o desenvolvimento do estudo. A Seção 3 trata dos efeitos das mudanças climáticas, das ações tomadas em vista da pandemia e das emissões de Green Bonds em 2020. A relevância da compreensão sobre o mercado de emissões verdes em 2020 considera a essencialidade dos Green Bonds para a mitigação e adaptação aos efeitos das mudanças climáticas já sentidos em todo o mundo. A Seção 4 aponta indicadores das emissões de Green Bonds em 2020, assim como as mudanças percentuais em relação ao ano anterior. As comparações entre 2020 e 2019 visam contextualizar o comportamento

do mercado de emissões em um ano onde o planeta foi afetado por uma pandemia que modificou todo o sistema financeiro internacional, em relação a um ano onde tal preocupação não existia. Dessa forma, é possível desvelar, na Seção 5, o comportamento do mercado de emissão de Green Bonds frente ao surto mundial da COVID-19.

2. METODOLOGIA

A fim de obter resultados condizentes com os objetivos, foi realizada uma pesquisa teórica, baseada em conceitos, dados e indicadores, utilizando para tal embasamento artigos, relatórios, periódicos, publicações de bancos, empresas e indústrias relacionadas a Green Bonds e afins. Os passos da metodologia estão expressos na Figura 1 e descritos logo em seguida.

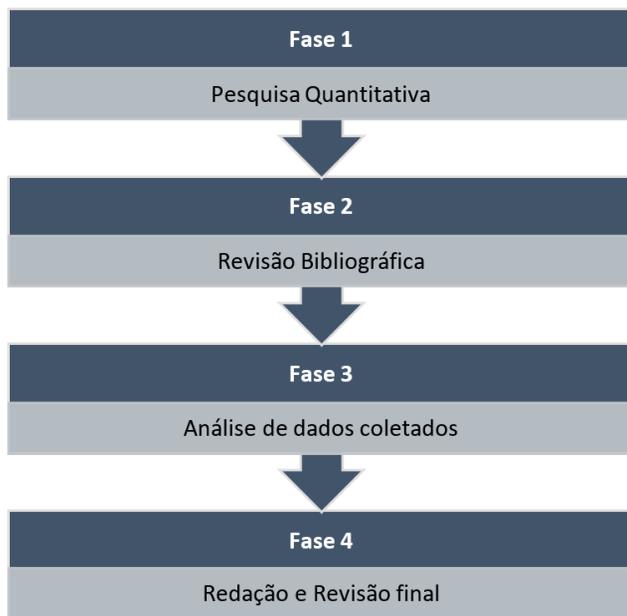


Figura 01: Metodologia da pesquisa.
Fonte: Autores.

- Pesquisa quantitativa: a pesquisa quantitativa teve como base dados estatísticos para a obtenção de resultados exatos. Dessa forma, foram coletados materiais relacionados a emissões de Green Bonds de 01/01/2020 a 31/12/2020, ou seja, durante todo o ano de 2020;
- Revisão bibliográfica: foi realizada uma revisão bibliográfica documental em materiais publicados referentes às emissões de Green Bonds em 2020. Considerou-se relevante artigos e relatórios de empresas certificadoras, bem como de bancos internacionais que são referência no mercado financeiro, para a construção de uma análise bem fundamentada. Para

revisão foram considerados estudos de acesso aberto em bases de dados como Web of Science e Scopus, bem como relatórios de importantes organismos mundiais por meio de combinação entre palavras-chave como “Green Bond”, “COVID-19” e “pandemic”;

- Análise dos dados coletados: foi analisado todo o material coletado, tendo como objetivo um melhor entendimento acerca do comportamento do mercado financeiro na gestão de Green Bonds. Na retenção das informações, foram considerados os critérios de qualificação (aplicabilidade e qualidade) apresentados na Tabela 1.

Tipo	Critério
Aplicabilidade	Os objetivos do estudo investigado estão alinhados aos objetivos do presente artigo?
Qualidade	Há contribuição para o estado da arte da temática sob investigação?
	A fonte de publicação apresenta relevância técnica e científica?

Tabela 01: Critérios de qualificação.
Fonte: Autores.

- Redação e Revisão Final: após toda a análise e compilação de dados, foi elaborada a redação que produziu o presente artigo e feita a revisão final.

3. OS SINAIS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS, A PANDEMIA E AS NOTÁVEIS EMISSÕES DE GREEN BONDS EM 2020

Em 31 de dezembro de 2019, a Organização Mundial da Saúde (OMS) recebeu um alerta sobre a ocorrência de quadros de pneumonia em Wuhan, uma província de Hubei, na República Popular da China. Apenas uma semana depois, em 7 de janeiro de 2020, foi confirmada pelas autoridades chinesas a descoberta de um novo tipo de coronavírus. Buscando obstaculizar sua propagação a nível global, em 30 de janeiro de 2020, a OMS declarou o surto do novo coronavírus como uma Emergência de Saúde Pública de Importância Internacional (ESPII), nível máximo de alerta da Organização. Em 11 de março de 2020, a COVID-19 foi caracterizada pela OMS como uma

pandemia (Organização Pan-Americana da Saúde, 2020).

A partir do surgimento desse novo coronavírus, o mundo nunca mais foi o mesmo: comércios, empresas e instituições tiveram suas atividades presenciais pausadas - muitas pela primeira vez desde a fundação. Houve gargalos de suprimentos, por conta da parada na cadeia de produção de alguns fabricantes e muita incerteza quanto ao futuro.

Mas de acordo com o relatório State of the climate in 2020, publicado como complemento para o boletim da American Meteorological Society, em agosto de 2021, apesar da presença do La Niña (responsável pelo resfriamento das águas superficiais do pacífico) e da consequente diminuição das atividades em todo o planeta em razão da pandemia, o ano de 2020 foi um dos três anos mais quentes desde que os registros globais começaram, em meados de 1800.

O nível do mar, em escala global, bateu seu recorde pelo nono ano consecutivo ficando 91,3 mm acima da média de 1993 (quando iniciaram-se as medições via satélite). Enquanto a população mundial lutava com a pandemia, os sinais da mudança climática não mitigaram. Embora as emissões do uso de combustível fóssil em 2020 tenham caído de 6 a 7% em relação ao ano anterior, devido à diminuição das atividades, a concentração atmosférica do gás de efeito estufa mais importante (dióxido de carbono), continuou a aumentar para os níveis mais altos do registro moderno climático.

Tudo isso corrobora para a necessidade vital do aumento das emissões de títulos verdes que ajudem a mitigar os efeitos já vivenciados das mudanças climáticas e, mais que isso: promovam a conscientização ambiental nas empresas e as incentivem a cuidar do planeta. Para definir se um projeto é verde e elegível à emissão de Green Bonds, há um conjunto de critérios a serem seguidos. O Green Bond Principles (2021) lista como elegíveis aos Green Bonds as seguintes categorias de Uso dos Recursos (Use of Proceeds, em inglês), conforme exemplificado na Figura 2.

O ano de 2020 começou forte, mas a pandemia de COVID-19 impactou rapidamente a emissão de todos os tipos de títulos em março. Os pacotes de apoio do governo entraram em vigor no segundo trimestre e os emissores começaram a retornar ao mercado com cautela. Muitos emissores do setor público voltaram sua atenção para os títulos com temas sociais e/ou de sustentabilidade, com o propósito de aliviarem de imediato o choque econômico resultante da pandemia e suas ramificações. Em setembro, com o retorno da confiança, as entidades

10 CATEGORIAS ELEGÍVEIS AOS GREEN BONDS.



Figura 02: Categorias Elegíveis aos Green Bonds.

Fonte: Green Bond Principles (2021).

que haviam adiado as emissões dos títulos verdes no início do ano estavam preparadas, resultando no terceiro trimestre mais produtivo registrado para emissão verde (Climate Bonds Initiative, 2021).

O mercado emergente teve resultados notáveis em 2020, com destaque para a China que foi o quarto maior emissor mundial de títulos verdes. Em 31 de dezembro de 2020, as receitas dos Green Bonds foram alocadas ao Portfólio Verde do Bank Of China (BOC), demonstrando uma diversificação estrutural em setores verdes com predominância dos setores de transporte limpo e águas residuais. De todo o investimento voltado para Green Bonds, 95,32% foram destinados a projetos de transporte limpo (metrô eletrificado, por exemplo) e 4,68% foram para projetos acerca de resíduos e água (tratamento de águas residuais). Todos os Green Bonds do BOC foram destinados a projetos na China continental, sendo 79,09% no Norte da China e 20,91% no Leste da China (Bank of China, 2021). Ainda, como exemplo, o relatório citou um projeto de tratamento de águas residuais localizado na cidade costeira do leste da China, cujo empréstimo do BOC foi responsável por aproximadamente 59,79% do investimento total do projeto. O resultado foi a redução de Demanda Química de Oxigênio (DQO) em 23.246 toneladas/ano e do Nitrogênio Amoniacal (NH₃-N) em 4.090 toneladas/ano.

A IFC, uma organização membro do World Bank Group e a maior instituição de desenvolvimento global focada exclusivamente no setor privado de países em

desenvolvimento, teve um ano fiscal dominado por ajudar seus clientes a lidarem com as consequências socioeconômicas da pandemia. Ela seguiu em frente com seu Green Bond Program, expandindo-se para novos mercados e moedas, consequentemente entregando várias negociações importantes. Ao longo do ano, a IFC emitiu diversos títulos verdes em formato de atribuição privada, em moedas como iene japonês, real brasileiro e coroa sueca. Em 30 de junho de 2020, os títulos verdes da IFC em circulação já totalizavam cerca de 5,9 bilhões de dólares (IFC, 2021).

Apesar do impacto da pandemia de COVID-19, o mercado de dívida sustentável da América Latina & Caribe (ALC) também continuou a crescer e bateu recorde. A emissão total de Títulos Verdes, Sociais e Sustentáveis (VSS) foi de 16,3 bilhões de dólares em 2020 (+82% comparado com 8,9 bilhões de dólares em 2019). Com o retorno das economias da região e o compromisso em efetivar uma recuperação verde e sustentável, há grandes oportunidades para a expansão das finanças sustentáveis da ALC. A região também registrou mais de 9,4 bilhões de dólares em emissões de títulos verdes em 2020 (um acréscimo de 33% em relação a 2019). Tal movimento, impulsionado principalmente pela emissão soberana da República do Chile (3,8 bilhões de dólares) e por vários emissores do Brasil (2,5 bilhões de dólares), deixou o mercado emergente em uma posição de destaque. A República do Chile também registrou o maior volume em uma única transação em 2020: 1,3 bilhões de euros/1,4 bilhões de dólares. Desde o início de 2020, 25 novos emissores entraram nesse mercado, lançando seus primeiros títulos verdes, sendo a maioria do Brasil (17) e México (3). Desses 25 emissores, 19 são empresas, denotando a ascensão deste setor no mercado de finanças verdes (Climate Bonds Initiative, 2021)

A Next Generation EU (NGEU), um plano de recuperação para a vida pós-pandêmica na Europa, também sinalizou a preocupação do bloco com temas verdes. Esse plano é a resposta da União Europeia à crise do coronavírus e visa apoiar a recuperação econômica e construir um futuro mais verde, digital e resiliente. Em setembro de 2020, a Comissão Europeia anunciou a sua intenção de angariar 30% dos fundos da NGEU (até 250 bilhões de Euros) através da emissão de Green Bonds e utilizar os rendimentos para financiar investimentos e reformas verdes. O quadro dá aos investidores nestes títulos a confiança de que os fundos mobilizados serão atribuídos a projetos verdes e de que a Comissão apresentará um relatório sobre o seu impacto ambiental. A

presidente da Comissão Europeia, Ursula Von Der Leyen, expressou essa ambição da Comissão em seu discurso sobre o Estado da União Europeia em 2020 (European Commission, 2021).

Em um ano caracterizado pela incerteza em todas as esferas a nível global, a emissão de títulos verdes se recuperou no segundo semestre de 2020 atingindo um recorde de 269,5 bilhões de dólares no final de dezembro. Isso representa um pouco acima do total final de 266,5 bilhões de dólares em 2019 (em 2018 foram 171,4 bilhões de dólares). Depois de um primeiro trimestre forte, a emissão de títulos verdes no segundo trimestre de 2020 foi impactada pela pandemia de COVID-19, mas um terceiro trimestre recorde garantiu um final sólido (Climate Bonds Initiative, 2021).

Por fim, além de investimentos em títulos verdes, o ano de 2020 também consolidou ferramentas para a emissão desses títulos, trazendo informações fundamentais acerca do mercado e de seu funcionamento. A FSD Africa, uma agência de desenvolvimento que busca reduzir a pobreza por meio do fortalecimento dos mercados financeiros na África Subsaariana, lançou em 2020 o Africa Green Bond Toolkit.

Esse Kit de Ferramentas, cujo desenvolvimento foi patrocinado e liderado pelo FSD Africa e preparado pela CBI, é um guia prático que fornece aos países africanos e aos mercados de capitais orientação sobre a emissão de títulos verdes, alinhados com as melhores práticas e padrões internacionais. Ele também traz um pano de fundo para o desenvolvimento do mercado, com exemplos que surgiram na África, como a Acorn Holdings (Quênia) e o Access Bank (Nigéria). Essa parceria oferece uma oportunidade para a construção de uma economia mais resistente ao clima e mais verde, especialmente na África, a fim de cumprir os compromissos assumidos no Acordo de Paris (Climate Bonds Initiative, 2020a).

4. INDICADORES DAS EMISSÕES MUNDIAIS DE GREEN BONDS NO CENÁRIO PANDÊMICO DE 2020

Mesmo com a pandemia, o mercado de Green Bonds teve um leve avanço em relação ao ano anterior. A Tabela 2 apresenta essa mudança percentual de 2020 em relação a 2019.

Juntas, as categorias de Energia, Construções e Transporte foram, respectivamente, as três maiores categorias de Uso dos Recursos, contribuindo com 85% para o total em 2020.

Ano 2020	Mudança percentual em relação a 2019
Tamanho do mercado: 290 bilhões de dólares	+9%
Número de emissores: 634	+14%
Número de instrumentos: 1696	-9%
Volume médio do instrumento: 171 milhões de dólares	+19%
Número de países: 55	+6%
Número de moedas: 34	0%

Tabela 2: Mercado mundial de Green Bonds em 2020 e a mudança percentual relativa ao ano anterior.

Fonte: Climate Bonds Initiative (2020b).

Energia e Transporte, juntamente com Uso do Solo, foram as únicas categorias a expandir em 2020. Fazendo um comparativo entre o volume verde global movimentado em 2019 e o volume verde global movimentado em 2020 pelos Mercados Desenvolvidos (DM), Mercados Emergentes (EM) e Entidades Supranacionais (SNAT), tem-se a Figura 3.

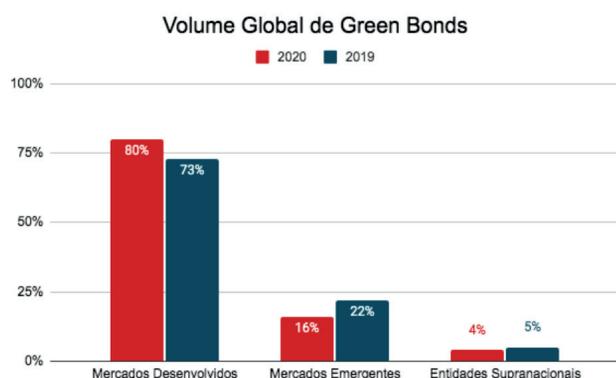


Figura 03: Volume Global de Green Bonds em 2019 e 2020.

Fonte: Climate Bonds Initiative (2020b).

Do volume verde global movimentado em 2020, quatro quintos foram originados de DM, enquanto os EM e as SNAT representaram uma retração de 6% e 1%, respectivamente, em relação a 2019. A Europa foi a maior fonte de dívida verde, responsável por 165 bilhões de dólares ou 48% do total de 2020.

A América do Norte permaneceu estável, com 61,5 bilhões de dólares em emissões comparados com 60 bilhões de dólares em 2019 e os títulos de entidades

chinesas alcançaram 22,4 bilhões de dólares ou 70% do total de 2019. O Egito, a Alemanha, a Hungria e a Suécia emitiram títulos verdes soberanos, elevando o número total desses emissores para 16 (Climate Bonds Initiative, 2021). O ranking dos 10 países com maiores emissões de Green Bonds em 2020 foi distribuído conforme a Figura 4.

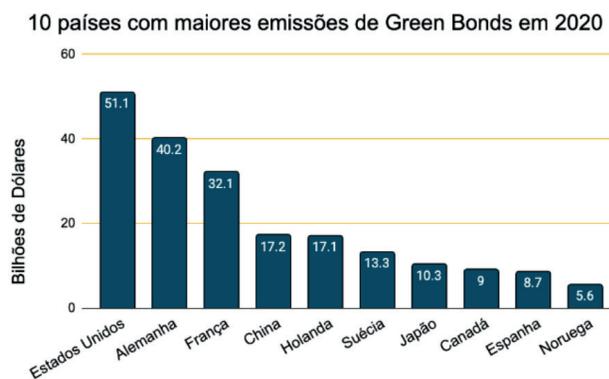
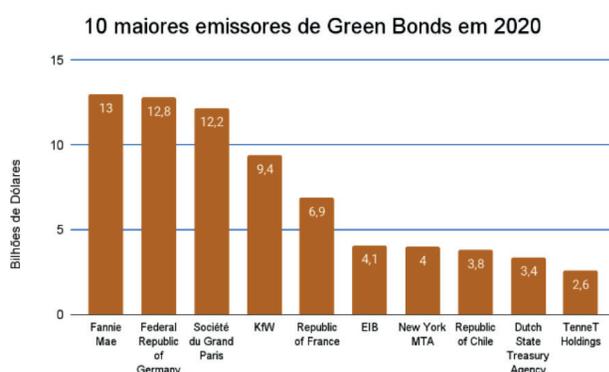


Figura 04: Os 10 países com as maiores emissões de Green Bonds - em bilhões de dólares - no ano de 2020.

Fonte: Climate Bonds Initiative (2021).

As demais colocações nacionais foram ocupadas pelo Reino Unido, Chile, Singapura, Itália, Portugal, Austrália, Finlândia, Indonésia e Dinamarca. Os 20 primeiros países têm uma emissão total combinada de 243,8 bilhões de dólares e vários outros países representam os 25,7 bilhões de dólares restantes em emissões anuais. O ranking dos maiores emissores traz a Fannie Mae (uma empresa americana de financiamento hipotecário) como a maior emissora de títulos verdes em 2020, seguida pela República Federal da Alemanha, como descrito na Figura 5.



O mercado de títulos verdes dos países emergentes (EM) também foi resiliente, com 174 títulos verdes, totalizando 40 bilhões de dólares em emissão de 101 emissores. Os maiores emissores foram Chile, República Tcheca, Hungria, Brasil e Indonésia. Entre os novos participantes do mercado estão o Egito, com uma emissão verde soberana de 750 milhões de dólares em setembro de 2020, e a

Hungria, com emissões verdes soberanas de 1,9 bilhão de dólares, além de outros 300 milhões de dólares em emissão de empresas não financeiras.

Outros emissores de títulos verdes estreantes foram instituições do setor financeiro com sede na Armênia e Cazaquistão e empresas não financeiras com sede na Geórgia, Romênia e Arábia Saudita. Desde 2012, 43 economias de mercado emergentes emitiram títulos verdes, registrando emissão acumulada de 226 bilhões de dólares. Excluindo a China, a emissão foi dividida quase igualmente entre os setores público e privado (IFC, 2020). Na Tabela 3, notam-se os 10 maiores emissores do Mercado Emergente em 2020.

PAÍS	VOLUME (em milhões de dólares)
China	18,076
Chile	3,811
República Tcheca	2,508
Hungria	2,192
Brasil	1,913
Indonésia	1,860
Arábia Saudita	1,300
México	1,239
Romênia	1,041
Tailândia	955

Tabela 03: Emissões de Títulos Verdes dos Mercados Emergentes (EM) em 2020 (em milhões de dólares).

Fonte: IFC (2020).

A região da América Latina e Caribe (LAC) apresentou um crescimento próximo de 65% em relação a 2019, atingindo 7,9 bilhões de dólares em emissões. Mais da metade do total originou-se do Chile, incluindo quatro títulos verdes soberanos no valor total de 3,8 bilhões de dólares (Climate Bonds Initiative, 2021).

Após os anos de 2018 e 2019, receberam arrecadações que não ultrapassaram os 40 bilhões de dólares por trimestre, o ano de 2020 bateu recorde com o quarto trimestre alcançando quase 140 bilhões de dólares em arrecadação (Climate Bonds Initiative, 2021) Os números mostram que o mercado não apenas se consolidou, como também superou os anos anteriores com o agravante de

uma pandemia que não dava sinais de um fim próximo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em um ano pandêmico onde inúmeras entidades tiveram suas atividades suspensas e foram confrontadas com uma insegurança excruciante, atestar que o valor das emissões dos Green Bonds se superara denota uma grata surpresa tanto para o mercado, quanto para os contemplados pelas benfeitorias advindas dessas emissões. O desabono continua sendo o aumento das emissões globais dos gases de efeito estufa, mesmo com a paralisação de grande parte das atividades em todo o globo. Porém, a pandemia serviu para reforçar ainda mais a necessidade de investimento em projetos que efetivamente beneficiem as causas ambientais. Foi um período de muitos desafios onde instituições focaram em ajudar seus clientes a se restabelecerem frente a um cenário de muita insegurança, além de ampliarem programas estrategicamente voltados para a pauta verde.

Essa promoção de Green Bonds de forma recorde em 2020 demonstra que a teoria tem dado lugar à prática e que o caminho delineado no Acordo de Paris está sendo trilhado. Apesar dos três países com maiores emissões pertencerem ao mercado desenvolvido, o mercado emergente se destacou com a China em quarto lugar na lista dos maiores emissores globais de 2020. Isso prova que os países em desenvolvimento também estão em busca de um futuro limpo e verde, com um mercado de ativos verdes fortemente aquecido. Os sinais das mudanças climáticas partilhados por todos os seres vivos no planeta, mas em diferentes intensidades, demonstram o quanto a promoção desses investimentos é essencial.

Dessa forma, é imprescindível que os projetos verdes se tornem frequentes, incorporados na realidade de todos e parte do cotidiano. Apesar de 2020 ter sido um ano desafiador, ele provou também que, no que tange ao sistema financeiro, é possível voltar os olhos para a natureza dando-lhe a importância devida. Só existirá futuro se os tomadores de decisões abarcarem o colapso da natureza frente à poluição exacerbada e devastação dos recursos naturais, colocando o capital à disposição para projetos que a tratem como prioridade e alvo de preservação. O ano de 2020 serviu para provar que isso é possível e que os grandes bancos e investidores já estão trabalhando para que as emissões continuem acontecendo - mesmo em meio a uma pandemia assoladora, como foi a COVID-19.

Como proposta de estudos futuros, aconselha-se averiguar como se comportaram as emissões de Green Bonds no cenário pós-pandêmico, bem como desenvolver estudos de caso específicos para um país ou região

em específica, inclusive podendo dar destaque aos países emergentes melhor destacados na lista.

REFERÊNCIAS

Bank of China. **Annual Report on Bank of China's Sustainability Series Bonds**. Disponível em: <https://pic.bankofchina.com/bocappd/report/202104/P020210430613964103782.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2022.

Batista, Gisele Victor. Agenda 2030 e ESG: As Políticas e As Práticas de Sustentabilidade Nas Empresas Conscientes. **Sustentabilidade**, p. 10. 2021.

Blunden, J. and T. Boyer, Eds., 2020. State of the Climate in 2020. **Special Supplement to the Bulletin of the American Meteorological Society**, Vol. 102, No. 8, August, 2021. Disponível em: https://ametsoc.net/sotc2020/State_of_the_Climate_in_2020_LowRes96.pdf. Acesso em: 11 fev. 2022.

Climate Bonds Initiative. **Análise de Mercado América Latina & Caribe 2021**. Disponível em: https://www.climatebonds.net/files/reports/cbi_lac_2020_pt_02d.pdf. Acesso em: 11 fev. 2022.

Climate Bonds Initiative. **Climate Bonds Initiative and FSD Africa launch Africa Green Bonds Toolkit: a practical guide for African markets**. Disponível em: <https://www.climatebonds.net/2020/09/climate-bonds-initiative-and-fsd-africa-launch-africa-green-bonds-toolkit-practical-guide>. Acesso em: 11 fev. 2022.

Climate Bonds Initiative. **Record \$269.5bn green issuance for 2020: Late surge sees pandemic year pip 2019 total by \$3bn. 2020a**. Disponível em: <https://www.climatebonds.net/2021/01/record-2695bn-green-issuance-2020-late-surge-sees-pandemic-year-pip-2019-total-3bn>. Acesso em: 11 fev. 2022.

Climate Bonds Initiative. **Sustainable Debt Global State of The Market 2020**. 2020b. Disponível em: https://www.climatebonds.net/files/reports/cbi_sd_sotm_2020_04d.pdf. Acesso em: 11 fev. 2022.

Climate Bonds Initiative. **Sustainable Debt Market Summary Q3 2021**. 2021. Disponível em: <https://www.climatebonds.net/files/reports/>

[cbi_susdebtsun_q32021_03b.pdf](#). Acesso em: 11 fev. 2022.

De Assis, Tássia Faria et al. Enabling the Green Bonds Market for Sustainable Transport Projects Based on the Measure/Monitoring, Reporting and Verification Method. In: **Carbon Footprints of Manufacturing and Transportation Industries**. Springer, Singapore, 2022a. p. 1-24. doi:10.1007/978-981-19-7226-3_1

De Assis, Tássia Faria et al. Sustainable Transport Indicators and Mitigation Actions Applied to the Green Bond Principles. In: **Carbon Footprints of Manufacturing and Transportation Industries**. Springer, Singapore, 2022b. p. 139-169. doi:10.1007/978-981-19-7226-3_6

European Investment Bank. **Activity Report 2007**. 2008. Disponível em: <https://www.eib.org/en/publications/activity-report-2007>. Acesso em: 12 fev. 2022.

European Investment Bank. **Climate Awareness Bonds - The world's first green bond**. Disponível em: <https://www.eib.org/en/investorrelations/cab/index.htm>. Acesso em: 11 fev. 2022.

European Commission. NextGenerationEU, **GREEN BONDS**. Disponível em: https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/about_the_european_commission/eu_budget/factsheet_2_green_bonds_14.04.pdf. Acesso em: 11 fev. 2022.

International Capital Market Association, ICMA. **Green Bond Principles - Voluntary Process Guidelines for Issuing Green Bonds - June 2021**. Disponível em: <https://www.icmagroup.org/assets/documents/Sustainable-finance/2021-updates/Green-Bond-Principles-June-2021-140621.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2022.

International Finance Corporation, IFC. **Green Bond Impact Report - Financial Year 2020**. Disponível em: https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/5a9405c4-cfeb-42d2-889e-3a6c6eb48a26/IFC+FY20+Green+Bond+Impact+Report_FINAL.pdf?MOD=AJPERES&CVID=nj.Zu6o. Acesso em: 11 fev. 2022.

International Finance Corporation, IFC. Emerging

Market Green Bonds Report 2020. 2020. **On the Road to Green Recovery**. Disponível dia 15/12/2021 em <https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/0fab-2dcd-25c9-48cd-b9a8-d6cc4901066e/2021.04+++Emerging+Market+Green+Bonds+Report+2020++EN.pdf?MOD=AJPERES&CVID=nBW.6AT>. Acesso em: 11 fev. 2022.

Labuschagne, Carin; Brent, Alan C.; Van Erck, Ron Pg. Assessing the sustainability performances of industries. **Journal of Cleaner Production**, v. 13, n. 4, p. 373-385, 2005.

Lueneburger, C. & Goleman, D. The Change Leadership Sustainability Demands. **MIT Sloan Management Review**, 51 (4), 2010. Disponível em: <https://sloanreview.mit.edu/article/the-change-leadership-sustainability-demands/>. Acesso em: 05 fev. 2022.

Organização Pan-Americana da Saúde, OPAS. **Histórico da pandemia de COVID-19**. 2020. Disponível em: <https://www.paho.org/pt/covid19/historico-da-pandemia-covid-19>. Acesso em: 11 fev. 2022.

United Nations. **Paris Agreement**. United Nations: New York, NY, USA, 2015. Disponível em: https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement. Acesso em: 11 fev. 2022.

AGRADECIMENTOS

À equipe da Pós-graduação Executiva em Meio Ambiente do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro por todo suporte e dedicação.

AUTORES

ORCID: 0000-0003-0983-440X

THAIS GUEDES MÁXIMO MONTEIRO, Mestranda | Universidade Estadual do Rio de Janeiro | Ciência e Tecnologia Ambiental | Rio de Janeiro, RJ - Brasil | Correspondência para: Av. Manuel Caldeira de Alvarenga, 1203 - Campo Grande, Rio de Janeiro - RJ, 23070-200 | E-mail: thaisgmaximo@gmail.com

ORCID: 0000-0002-2557-2721

VICTOR HUGO SOUZA DE ABREU, Doutorando | Instituto Alberto

Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro | Engenharia de Transportes | Correspondência para: Av. Horácio Macedo, 2030, 101 – Cidade Universitária – Rio de Janeiro, RJ, Brasil | E-mail: victor@pet.coppe.ufrj.br

ORCID: 0000-0002-5984-6313

ANDREA SOUZA SANTOS, Doutora e Professora | Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro | Engenharia de Transportes | Correspondência para: Av. Horácio Macedo, 2030, 101 – Cidade Universitária – Rio de Janeiro, RJ, Brasil | E-mail: andrea.santos@pet.coppe.ufrj.br

COMO CITAR ESTE ARTIGO

MONTEIRO, Thais Guedes Máximo; ABREU, Victor Hugo Souza de; SANTOS, Andrea Souza. *MIX Sustentável*, v. 9, n. 3, p. 171-180, 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.n3.171-180>](https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n3.171-180).

SUBMETIDO EM: 05/03/2022

ACEITO EM: 07/04/2023

PUBLICADO EM: 30/07/2023

EDITORES RESPONSÁVEIS: Carlo Franzato e Paulo Cesar Machado Ferrolli.

Registro da contribuição de autoria:

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

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

VHSA: supervisão, validação, visualização, escrita - revisão & edição.

ASS: supervisão, validação, visualização, escrita - revisão & edição.

Declaração de conflito: nada foi declarado.

SUSTAINABILITY TRANSPARENCY: SCOPE FOR DIGITAL SERVICES

TRANSPARÊNCIA PARA SUSTENTABILIDADE: ESCOPO EM SERVIÇOS DIGITAIS

TRANSPARENCIA EN SOSTENIBILIDAD: ALCANCE EN SERVICIOS DIGITALES

MARCELLA LOMBA NICASTRO | UFPR - Universidade Federal do Paraná

AGUINALDO DOS SANTOS | UFPR - Universidade Federal do Paraná

ABSTRACT

Transparency for sustainability in digital services represents an emergent challenge for organizations. In addition to the technological push to operationalize digital infrastructure and information systems, knowledge to support service designers in approaching transparency challenges is limited. An understanding of what sustainability transparency means and how to inform the scope for its application in service design is needed. A literature review of the historical evolution and key conceptualizations was used to provide a theoretical framework. Then, an exploratory multiple case study (ex-post-facto) (representing the different contexts of practice) was conducted to help validate and refine the framework. The provided framework can help in understanding the ethical, communication, and value creation implications of the concept from the digital service-encounter to more systemic levels.

KEYWORDS

Transparency; sustainability; digital services; service design; responsible design.

RESUMO

Transparência para a sustentabilidade em serviços digitais representa um desafio emergente para as organizações. Além do avanço tecnológico para operacionalizar a infraestrutura digital e os sistemas de informação, o conhecimento para apoiar designers de serviço em desafios de transparência é limitado. É necessário entender o que transparência para sustentabilidade significa e como orientar o escopo de sua aplicação no design de serviço. Uma revisão da literatura sobre a evolução histórica e principais conceituações no tema foi usada para fornecer uma estrutura teórica base. Em seguida, um estudo de caso múltiplo exploratório (ex-post-facto) (representando os diferentes contextos de prática) foi realizado para ajudar a validar e refinar a estrutura. A estrutura fornecida pode auxiliar na compreensão das implicações éticas, de comunicação e de criação de valor do conceito, desde o ponto de contato digital do serviço à níveis mais sistêmicos.

PALAVRAS-CHAVE

Transparência; sustentabilidade; serviços digitais; design de serviço; design responsável.

RESUMO

La transparencia para la sustentabilidad en los servicios digitales representa un desafío emergente para las organizaciones. Además del impulso tecnológico para poner en funcionamiento la infraestructura digital y los sistemas de



información, el conocimiento para ayudar a los diseñadores de servicios a abordar los desafíos de transparencia es limitado. Se necesita una comprensión de lo que significa la transparencia de la sostenibilidad y cómo informar el alcance de su aplicación en el diseño del servicio. Se utilizó una revisión de la literatura sobre la evolución histórica y las conceptualizaciones clave para proporcionar un marco teórico. Luego, se llevó a cabo un estudio exploratorio de casos múltiples (ex-post-facto) (que representaba los diferentes contextos de la práctica) para ayudar a validar y refinar el marco. El marco proporcionado puede ayudar a comprender las implicaciones éticas, de comunicación y de creación de valor del concepto desde el encuentro de servicios digitales hasta niveles más sistémicos.

PALABRAS CLAVE

Transparencia; sostenibilidad; servicios digitales; diseño de servicio; diseño responsable.



1. INTRODUCTION

There are different types of transparency studies in literature, from abstract meanings of the concept to more practical ways to operationalize it efforts, in fields such as philosophy, sociology, political science, corporate governance, information systems, among others (ALLOA and THOMÄ, 2018). This study aligns with publications arguing for the importance of exploring transparency in a more critical and holistic perspective, considering its role in reshaping socio, environmental and economic relationships (EGGERT and HELM, 2003; MCCARTHY and FLUCK, 2017; ALBU and FLYVERBOM, 2019).

Transparency for sustainability has been tightly pushed in production and supply chain contexts, by organizational regulations and information technologies such as traceability (SCHIEFER and DEITERS, 2013; NICASTRO, 2020). Although in digital service contexts such initiatives remain relevant, they are no longer sufficient to provide the active transparency demanded by the customers. Within this perspective, a more active transparency strategy can play a role in service value creation, influencing the success of sustainability efforts through digital services (EDVARDSSON et al. 2005; SANGIORGI and PRENDIVILLE, 2017).

In that sense, Dennett and Roy (2015) argues that we are currently witnessing a period of “transparency explosion” with individuals and organizations exposed for better and for worse, impacting notions such as knowledge, belief, illusion and trust. For Dennett and Roy (2015), this will pressure the evolution of novel organizational arrangements that are more open, responsive, and decentralized.

Ethical issues play a major role in transparency and are gaining relevance in design for services, concerning what to stand for, what are the impacts and unintended consequences, and how people are included on services to promote a more sustainable society and new business offerings (MAGER et al., 2020).

The transition to the digital age, also called Fourth Revolution, is opening space for reshaping both society and people's lifestyles, behaviors, realities, values, and beliefs. Besides making use of information technology for automating basic processes and speeding up the exchange of information, the digital age has been characterized by a convergence of multiple technologies happening today (mobile, location-based, virtual reality, blockchains, artificial intelligence (AI), wearable technologies, chatbots, Internet of Things (IoT), etc.), that is blurring the lines between the physical, digital, and biological spheres (WEF, 2017; ZAKI, 2019).

On the organization side, digital capabilities can create new ways of serving customer's needs and enhance service value. On the customer side, the demand for transparency and engagement is growing, pressuring organizations to adapt the way they design relationship, communication, and collaboration-based experiences (WEF, 2017; ZAKI, 2019; NICASTRO, 2020).

An understanding of sustainability transparency characteristics in digital services and how to inform the scope for its practical application in service design is needed, leading to the goals of this study. Due to the broad range of definitions and the multidimensional characteristic of transparency, a range of classifications is present in the literature. However, it lacks linking the levels of intervention for service design.

2. THEORETICAL FOUNDATION

2.1. Understanding transparency

The term transparency can have a different meaning according to context or science, being a broad concept that applies to many areas such as engineering, business, humanities, etc. (PASQUIER and VILLENEUVE, 2007). Also, these areas can adopt a specific use of the concept, such as organizational transparency, budget transparency, transparency government actions and responsibilities, document transparency, among others. However, the emphasis in the literature on transparency definitions is from Organizational Governance and Accountability, also from International Relationships, and Politics areas. Those conventional definitions vary according to the scope and meanings (MICHENER and BERSCH, 2013).

Along the history, different concepts emerged and became associated with the term transparency, which gained multiple meanings and uses until more recently. Each distinct theoretical approach has generated a specific understanding of transparency. Due to that, there is an emerging consensus that no unified transparency theory has been put forward, and that transparency can exist across different contexts and domains of research, resulting in not having a single well-articulated definition (MICHENER and BERSCH, 2013; MEIJER, 2015; SCHNACKENBERG and TOMLINSON, 2016; MABILLARD and ZUMOFEN, 2017; ALLOA and THOMÄ, 2018; JANNING et al., 2020).

In this sense, Michener and Bersch (2013) argues that transparency has historically served less as a theoretical gathering point and more as a descriptive heuristic, suggesting that scholars have tacked on adjectives and

metaphors to describe transparency and analyzed its directionality or correlated it with social values.

Despite the general manifestations, one way to approach transparency is as an intrinsic value (implying it is an end in itself) (GRIMMELIKHUIJSEN, 2012). For a long time, transparency was etymologically and semantically associated with visibility, as a quality or attribute of a material object. Another one way to approach transparency is as an enabling state (implying a means to achieve other important goals) which is the focus of this study (GRIMMELIKHUIJSEN, 2012).

From the eighteenth and nineteenth century, it can be observed that more metaphorical derivative usages of transparency as a normative concept in the fields of ethics (or moral philosophy) as a matter of an ethical principle for democracy. According to Fieser (2021), normative ethics involves arriving at moral standards that regulate right and wrong conduct. This may involve articulating the good habits that we should acquire, the duties that we should follow, or the consequences of our behavior on others.

The sociopolitical developments from the Enlightenment period in the 18th century influenced debates about new forms of citizen involvement in politics and public affairs. According to Meijer (2015), these movements contributed with basics of transparency: open decisions, open meetings, and open information.

In this context, transparency as openness would become one of the main metaphorical uses in domains of democratic govern reforms, as a morally laudable character trait, indicating someone who is not withholding secretive intentions and signaling the trustworthiness of the actor in negotiations (BALL, 2009; ALLOA and THOMÄ, 2018). For Alloa and Thomä (2018) openness can take various forms, and in part it overlaps with some of the varieties of transparency: an openness in terms of accessibility of information ("seeing it all"); an openness in terms of sincerity ("saying it all"); an openness in terms of potential participation and transformation ("doing it all"). According to Janning et al. (2020), transparency as openness was most characterized by an ex-post transparency, like an act of justification in face of legislation.

Although the moral idea of transparency became popularized from the 18th century on, the concept as a matter of an ethical principle for democracy, also dates back from ancient Classic Philosophy 6th century BC (ALLOA and THOMÄ, 2018). It was mainly in the 19th century that the term transparency was explicitly used for the first time, representing a "right to know". According to Michener and Bersch (2013), the term transparency became popularized

when political and economic changes began to take shape in the 20th century, mainly in the political and organizational domains, for open decision-making and for counter corruption.

Contemporaneously, the most common form of transparency as a political practice is through "freedom of information" (FOI) or "right to information" (RTI) legislation (KOSACK and FUNG, 2014). According to Kosack and Fung (2014), transparency based on FOI/RTI legislation is related to conceptions of democracy, in which for citizens to express their preferences effectively, they require access to the information and arguments.

From the 1990s (20th century), transparency became a major emphasis of research and used as an attribute of negotiations. Transparency meaning extended from a mean to counter corruption to a mean to encourage open public decision-making and disclosure, to increase accountability, foster responsible corporate action (including social and environmental corporate responsibility), and as a value to incorporate in policies and by which to evaluate policies (BALL, 2009; KOSACK and FUNG, 2014).

For Fluck (2016), the second half of the 20th century was also especially important for transparency in the emergence of security cooperation, which involved various verification measures to ensure compliance. In this view, the appeal of transparency was accompanied by new standards of authority and legitimacy and, ultimately, by new forms of power.

Only more recently that transparency was extended into the private sector. To Alloa and Thomä (2018, p.39) and Mabilard and Zumofen (2017), by making decisions available to the public, stakeholders are meant to develop a sharpened sense of responsibility and improved accountability.

In this context, transparency usually focuses on clarity of roles and responsibilities, public availability of information, and assurances of integrity (OLIVER, 2004). The organization aims to legitimize itself and ensure that it is in line with regulations and policies or "what is right".

Besides public and private organizations evolving practices on transparency, Meijer (2015) highlights the role of intermediaries and third parties such as media and interest groups, in divulging and putting into practice the concept of transparency.

According to Kosack and Fung (2014), a new paradigm of transparency is emerging as activists, investors, and customers have increasingly pressed companies to behave in what they regard as more socially responsible and beneficial ways by compelling corporations to become transparent

about their products, services, and governance.

Adding to that, Michener and Bersch (2013) highlights that during the 1990's (20th century), the use of the term transparency also gained prominence with the emergence of the Internet. The more recent growth of digital systems presents new challenges and opportunities for transparency, by inventing new ways to collect, process, and distribute information (KOSACK and FUNG, 2014; FELZMANN et al., 2020).

In face of this context, a more recent evolution in the use of transparency, is called by Fung, Graham and Weil (2007) as collaborative transparency. It is viewed more as a potential socio-cultural phenomenon pivotal in reshaping the relationships and balance of power in society, where people as individual customers or beneficiaries of services can participate more actively in transparency efforts, to catalyze improvements — in areas such as healthcare, urban planning, environmental decisions, and educational quality — leading to improvements in individual's capacities and well-being (EGGERT and HELM, 2003; MOL, 2010; GRIMMELIKHUIJSEN and WELCH, 2012; KOSACK and FUNG, 2014; FLUCK, 2016; MCCARTHY and FLUCK, 2017; ALLOA and THOMÄ, 2018; ALBU and FLYVERBOM, 2019). Albu and Flyverbom (2019) suggest that transparency projects may be a force in the reshaping of objects, subjects, and relations.

According to Kosack and Fung (2014), this will result from closer collaboration between the designers of transparency and their beneficiaries. This reflects transparency trends that seeks to provide enhanced participation and engagement, facilitating the co-production and use of information by the customers themselves.

Albu and Flyverbom (2019) highlights conflicts and tensions as inescapable conditions for collaborative transparency strategies, and emphasis negotiations as inherent to transparency practices, as these can shape relations and boundaries across domains of organizations.

This historical review can be understood as a progressive movement, from highly abstract principles to more concrete and practical approaches to operationalize transparency efforts (MEIJER, 2015). All these movements are complementary and relevant, building upon each other, influencing different levels of intervention for design.

2.2. Framing transparency for sustainability in digital services

Sustainability is a widely shared concept referencing an evolving ideal of development efforts with no end known

in advance (BAGHERI and HJORTH, 2007). The nature of sustainability challenges is considered complex and systemic, with wicked problems characteristics, a type of problem that cannot be formulated or solved definitively, because it is always changing in different scales and implications (BAGHERI and HJORTH, 2007).

Sustainability concept can be seen based on three dimensions: a) environmental: preventing, regenerating, and mitigating biosphere-geosphere degradation; b) social: ensuring a more fair, cohesive, and inclusive society; c) economic: promoting new business paradigms based on fair trade, cooperation, and decentralization (SANTOS et al., 2018; SANTOS et al., 2019; CESCHIN and GAZIULUSOY, 2020).

Framing transparency for sustainability can be considered a “moving target”, as a relationship that can change overtime, rather than a problem for solving (OLIVER, 2004; BAGHERI and HJORTH, 2007). It implies standing for its principles and approaching transparency for sustainability in a more continuous, iterative, and systemic way.

To bring that to the context of services means that transparency needs to address sustainability at a systemic scale, considering its role in how input, processing and output flows influences social, environmental, and economic dimensions (SPOHRER et al., 2008; GIANNETTI et al., 2019; CESCHIN and GAZIULUSOY, 2019).

The service-system represents the organizational setting or the configuration that makes the service delivery possible, including the resources and actors connected through activities, to co-create experiences and value in a certain context (SPOHRER et al., 2008; MAGLIO et al., 2010; PATRÍCIO et al., 2011; WETTER-EDMAN et al., 2014; MORELLI et al., 2021).

The resources include all materials, artifacts, products, processes, technology, digital platforms, data, and information, among others natural, renewable, and non-renewable resources that are operated on by the actors (SPOHRER et al., 2008; GIANNETTI et al., 2019). It also includes the traditional physical channels, as well as digital channels. Touchpoints represent the service interfaces that enable the interactions between actors (WETTER-EDMAN et al., 2014; PRESTES JOLY et al., 2019).

The actors include all individuals as customers, and stakeholders that are service beneficiaries or workers, including digital intelligence-agents. They can also have a role in service as co-designer, consumer, customer, provider, etc. Service actors can be seen as resource-integrating, service-exchanging, value co-creating based on an actor-to-actor network logic (LUSCH and NAMBISAN 2015).

The context is where the service interactions take place and can also be viewed as part of a mediated activity, emerging from people's experiences and the service ecologies in which they participate. Wetter-Edman et al. (2014) argues that service contexts can coincide with the "serviceescape" concept. Value is perceived and assessed in a context, as a situated activity or use situation. Contexts are influenced by external factors (such as social, aesthetics, cultural, environmental, economic, political) and individual factors (such as emotions, routines, motivations).

The individual customer/user experience emerge from service interactions at a specific point in time, shaping the way people perceive situations and make decisions (WETTER-EDMAN et al., 2014). Thus, they are a subjective and invisible phenomenon, triggered by previous experiences and expectations, influenced by context, functions, and time. Also, the experience can be viewed as a source for value creation (SANGIORGI and PRENDIVILLE, 2017).

The value proposition can be viewed as a specific package of benefits and solutions that a service intends to offer. Lusch and Vargo (2014) argues that an organization can only provide a value proposition and not independently create it, since value connotation is determined by the service beneficiary. Although value is not always co-created, it is context specific.

Adding to that, the term "digital service" or "digital-enabled services" have been used to refer to services based on Information and Communication Technologies (ICT), where the degree of digital dependence can vary according to the type of technology and adoption by the customers and organizations (PENIN, 2017; HARTWIG and BILLERT, 2018). Digital services are characterized by a direct customer interaction with the service through digital touchpoints, such as a website or mobile app with internet access, serving as a mediator for the service provision (digital and non-digital).

Due to the vast complexity of digital interactions and domains, the most information-intensive services are those with few or no requirements for physical and personal interactions, or where interactions are focused on the information exchange needed to make decisions and apply other information (GLUSKO, 2010). In addition to "experience-intensive" that usually require information interactions to specify and co-produce the service (e.g., health-care, dining, or transportation services).

Rather than introducing technology to assist a human service worker, technology can be used to transform person-to-person service into a self-service (GLUSKO, 2010). This implies giving to the customers, access to information

that was previously visible only to the service worker. Thus, the digitalization of sustainability transparency in services also deals with how people make sense of quality, privacy, integrity, accountability, consumption patterns, social and environmental impacts.

3. METHOD

The study was conducted based on a Systematic and Non-Systematic Literature Review aimed to identify the current knowledge foundations. As a result, an initial version of the theoretical framework was developed describing sustainability transparency characteristics and key service elements to be considered for a design approach. Then, an exploratory multiple case study (ex-post-facto) was conducted to verify the adherence of the theoretical framework with real-world phenomena, supporting the external validation. After individual and cross-analysis of the cases, the results were used to validate and refine the theoretical framework. The details of the procedures are described next.

3.1. Literature Review

A preliminary non-systematic literature review was conducted, to obtain a broader understanding about sustainability transparency in the context of digital service design, and to help with the refinement of the initial keywords for a systematic literature review. The type of materials used were reports, subject, books, and articles published on the subject. Theses and dissertations were also incorporated into the unsystematic review. From this preparatory review, it was possible to identify a preliminary list of keywords.

Then, a systematic literature review was conducted, and the search criteria considered peer-reviewed articles published in international journals between 2011 and 2021. The approach to carry out the review adopted the proposition of 3 reading filters (CONFORTO et al., 2011): a) filter 1: reading the title, keywords and abstract; b) filter 2: reading the introduction and conclusion of the article, again reading the title, keywords and abstract; c) filter 3: full reading of the text. The search was centered on the journals available on Capes Journals platform (a Brazilian aggregator with over 49,000 full-text journals and 455 databases, including ScienceDirect, Scopus, Emerald, SAGE and SciELO).

The preliminarily mapped keywords were recombined in the form of search strings and tested to ensure the combination of the best words referring to the subject covered. More than 15 strings were tested, and the final strings

selected were the ones with the strongest results and directly linked to the topics under study, as shown in Table 1. The other tested and discarded strings presented no relevant or repeated results compared to the selected ones.

The application of filters occurred in the 40 most relevant articles obtained from each string. In the articles that passed through filter 3, we sought to review the key concepts, definitions, historical context, and design elements. Articles which did not meet the criteria presented were excluded from the review. The review adopted a qualitative and mainly inductive logic of analysis, in which data was interpreted to generate and explore the theory.

The systematic literature review revealed a limited number of publications addressing the study central topics. A total of 10 articles were selected and incorporated in the study combined with the publications from the non-sys-

Search strings	Results	Filter 1	Filter 2	Filter 3
<i>transparen*</i> <i>AND sustain*</i>	146	64	11	2
<i>transparen*</i> <i>AND design</i>	187	39	13	6
<i>transparen*</i> <i>AND service</i>	114	47	2	2
Total:	447	150	26	10

Table 01: Systematic literature review strings and filters.
Source: Authors.

tematic literature review. Due to the limitations of the systematic review on the theme, the non-systematic literature review was essential to bring additional publications for supporting the theoretical foundation.

3.2. Multiple Case Study (ex-post-facto)

A preliminary investigation was conducted to obtain a broader understanding of the categories of digital solutions about digital sustainability transparency and to help with the selection criteria of the cases. For this, a mapping of the most relevant and innovative companies on the subject was carried out through indirect documentation on the Internet. Three categories of solutions were identified as main clusters for the cases, representing the different contexts in which digital sustainability transparency has been practiced.

Then, the selection of the cases per category considered: startup companies (young companies) and already

established companies with digital technology-based solutions implemented for business to customer models; national and international cases with a business orientation for sustainability and/or circular economy.

A total of nine cases (three cases per category of solution) were progressively incorporated in the study, until the increase in new observations does not lead to a significant increase in information and to enable data triangulation (GIL, 2002). An overview of the selected cases is presented in Table 2.

The selected cases represent a category of emergent platforms perceived as a reference in digital sustainability transparency, organized according to three categories:

The first category represents "manufacturer-solutions" which typically provides information about the brand and its products. Commerce website is the main digital channel, having a broad range of formats and areas such as institutional, commerce, customer service, sustainability, etc.

The second category "technology-solutions" represents third-party platforms ranging from sustainability curator, traceability, and digital passport. They are developed by technology companies to attend a variety of fashion and textile manufacturer brands in digital transformation. The focus of the analysis was the embedded part of the solutions for the end users, and not the administrative part.

The category "service-solutions" represents Software as a Service (SaaS) in mobile apps, developed by sustainability-oriented companies to address B2C and C2C markets concerned in promoting and measuring sustainable behaviors to achieve sustainability goals. The selected cases represent a category of digital services driven mainly by startups tackling sustainability and climate change communication and engagement.

According to the ex-post-facto modality, data collection was based on evidence obtained after the occurrence of the events, without interference from the researcher, using multiple secondary sources of evidence for internal validation (YIN, 2010). For that, the main source of data focused on the types of content and interactions used in sustainability transparency communication on the solutions websites and mobile apps. Data from observation of social media channels, solution's documentation, internal and external reports, and publications were also used for validation. The collected data was predominantly qualitative, organized and tabulated as an inventory of the types of content and interactions, favoring the subsequent analysis of each case itself and the identification of patterns between cases (YIN, 2010).

The individual analysis of cases considered the

Code	Local	Description
Manufacturer-solutions for sustainability transparency		
Case_01	United States	A company producing outdoor clothing and gear for sports addressing environmental and social responsibility causes, founded in 1973. The selected platform was the brand website, including shopping, customer service and blog areas.
Case_02	Brazil	A company producing vegan shoes made of recycled materials and upcycling, founded in 2014. The selected platform was the brand website, including shopping, customer service and blog areas.
Case_03	Finland	A company producing textile and clothing 100% from recycled waste, founded in 2013. The selected platform was the brand website, including shopping, customer service and blog areas.
Technology-solutions for sustainability transparency		
Case_04	Netherlands	A platform of pre-built transparency components for manufacturer brands to embed in their websites. Founded in 2020, it acts as a third-party verifier of auto-referential sustainability claims and data from the brands. The platform is based on technologies such as Machine Learning and Business Intelligence.
Case_05	Brazil	A platform for traceability of production chains and carbon footprint. Founded in 2021, through a QR Code it is possible to identify all production processes, sustainability attributes and product compositions. The platform is based on technologies such as Blockchain and Business Intelligence.
Case_06	United States	A platform to turn physical products into digital assets. Founded in 2016, the solution is a CRM cloud platform, connecting brand's physical products with a Digital ID to make them traceable and interactive, driving new business models and authentication mechanisms. The platform is based on technologies such as Big Data, Cloud Data Services, and Internet of Things.
Service-solutions for transparency sustainability		
Case_7	Scotland	A climate action platform that empowers people to fight climate change at home and work. Founded in 2019, the solution has built a series of features to engage people in carbon footprint reduction such as curated climate actions, carbon footprint calculator, educational content, and planet-positive discounts.
Case_8	Brazil	A social network to promote sustainable behaviors in the neighborhood. Founded in 2021, the solution connects citizens through sustainable challenges or tasks. The solution includes remunerable activities to citizens working as local leaders in their neighborhood, encouraging new habits, contributing to a social environmental education, and generating relevant data for cities and municipalities.
Case_9	England	An evidence-led app that helps people learn to live more sustainably and take action. Founded in 2017, the solution is based on a program to help people understand their personal carbon footprint and reduce it, bringing people together through challenges and events to encourage collective action.

Table 02: Case study overview.
Source: Authors.

theoretical framework as a starting point, confronting the adherence of the theoretical propositions with the case evidence (YIN, 2010). Then, the cross-analysis of cases was carried out in a comparative and qualitative manner. Through this analysis, it was verified the common aspects and divergences in the cases analyzed. For Yin (2010) this technique is used in multiple case studies to examine replications. The results were used to refine the theoretical framework.

4. RESULTS AND DISCUSSION

4.1. Preliminary Theoretical Framework

The framework was built upon the literature review and comprised two components: the description on the characteristics of sustainability transparency and the key digital service elements to consider when approaching it by design.

4.1.1. Sustainability transparency characteristics

Sustainability transparency can be understood as a resulted state or condition formed by ethical, communication and value characteristics. In digital services, it is built by different mediations of a service social, environmental, and economic reality, resulting in a situated state of that mediation that can enable value creation for sustainability or inhibit the parts.

First, transparency can be mediated according to its ethical characteristics, since it's not a neutral mediation and deals with revelatory functions of the elements (KOIVISTO, 2016). It is an ethical principle in its core, rather than a target state to achieve or an informational quality standard (ALLOA and THOMÄ, 2018). Which implies an ethical responsibility with the service sustainability in terms of:

- Honestly communicating sustainability with the service customers (ALLOA and THOMÄ, 2018), by digitally providing true, evidenced, and verifiable content, without deceiving people.
- Opening sustainability content so that the service customers can access and use it (ALBU and FLYVERBOM, 2019), by making social, environmental, and economic aspects of the service digitally available.
- Including the diversity of customers in the service (ALBU and FLYVERBOM, 2019), by digitally supporting people with different sustainability capabilities.

Secondly, transparency can be mediated according to its communication characteristics, since it's built on interactions with nonverbal and/or verbal messages, which produce meanings and some shared understanding of what the message is about (FISKE, 2011). Which implies an informational responsibility with the service sustainability communication in terms of:

- Informational quality (SCHNACKENBERG and TOMLINSON, 2016; ALBU and FLYVERBOM, 2019; MATHEUS and JANSSEN, 2020), by digitally providing complete, consistent, and accurate sustainability content.
- Usage context (OLIVER, 2004; MEIJER, 2015), by setting sustainability content and interactions according to the context of use.

Then, transparency can be mediated according to its enabling value characteristics, since it's a potential catalyst for supporting people's confidence, understanding and actions from the service communication (ALBU and FLYVERBOM, 2019). It needs to be effective for the customers, as a quality and differential criterion, or as a means for value-creation towards sustainability. Which implies a responsible value-proposition with the service sustainability in terms of:

- Enabling customers to gain confidence from the transparency (FLUCK, 2016; MABILLARD and ZUMOFEN, 2017), by digitally ensuring credibility, compliance and/or protection of rights on social, environmental, and economic aspects of the service.
- Enabling customers to gain a sustainability understanding from the transparency (HOSSEINI et al., 2018; BUMBLAUSKAS et al., 2017), by digitally supporting knowledge-building on the social, environmental, and economic aspects of the service.
- Enabling customer to take actions towards sustainability from the transparency (HOSSEINI et al., 2018; BUMBLAUSKAS et al., 2017), by digitally supporting customization (individual) and collaboration (others) in social, environmental, and economic aspects of the service.

In summary, this characterization is derived from the key concepts identified in the literature review.

4.1.2. Scope and elements for sustainability transparency design in digital services

Due to the broad variety of services and organizational contexts, approaching sustainability transparency in service design can lead to different challenges, working scope and elements (Figure 1).

The "service digital-encounter" scope is very close to the real time and space of the customer interacting with the service. According to Morelli et al. (2021), value is perceived and determined by the customer accessing and interacting with a service. It means that designers and service organizations are not designing services — since they don't have full control of the value creation — but rather a number of digital interaction instruments that could facilitate the development of value in a specific time and context. When improvements or interventions remain focused on digital interactions, the potential of impact for changes addressing sustainability may remain contingent (SANGIORGI, 2011). At this scope, transparency initiatives primarily focus on content and interaction design and how to make it relevant, comprehensive, reliable, and usable for the customer (SCHNACKENBERG and TOMLINSON, 2016; MCCARTHY and FLUCK, 2017). It comprises verbal and visual types of content and interactions (BUELL et al., 2017), interested in promoting transparency for the customer in their context of use. This level also represents an emphasis on literature. Approaching transparency only at this scope can be limited in terms of impact for sustainability.

Because of that, the second scope is proposed as a transition from dealing with transparency as an end in itself to dealing with transparency as a means for change. At "service system-configuration" scope the role of designers is on setting the conditions for customers to create value from the service infrastructure (MORELLI et al., 2021). This involves articulating the actor's network, processes, resources, and impacts associated with social, environmental, and economic aspects of the service-system (MCCARTHY and FLUCK, 2017; SANGIORGI and PRENDIVILLE, 2017; MORELLI et al., 2021). Approaching transparency at this scope could focus on improving the service, exploring new service ideas, and fostering organizational change. Although the digital transparency experience can be part of the design, at this scope the focus is on the value proposition and arrangement of the

service elements, rather than the digital interface.

The "service institutional-context" scope implies a broader scale of impact for designers, which according to Morelli et al. (2021) is quite new for the service design discipline. It reflects a service design evolution, becoming more transformational, as a means for supporting the emergence of a more collaborative, sustainable, and creative society and economy (SANGIORGI, 2011). It is proposed for when sustainability transparency initiatives are already integrated in the organizational strategy and could foster transparency at the socio-technical-ecological systems in which the service organization is inserted (SANGIORGI, 2011; CESCHIN and GAZIOULOSOY, 2020). At this scope the design deals with elements such as social paradigms, culture and values, political and technological systems, and climate and biodiversity. Morelli et al. (2021) argues that although designers have no control of these systems, they can play a role in triggering change and possibly steer it in preferred directions.

In summary, this characterization integrates the key elements for sustainability transparency design in digital services. The levels of scope are built upon each other,

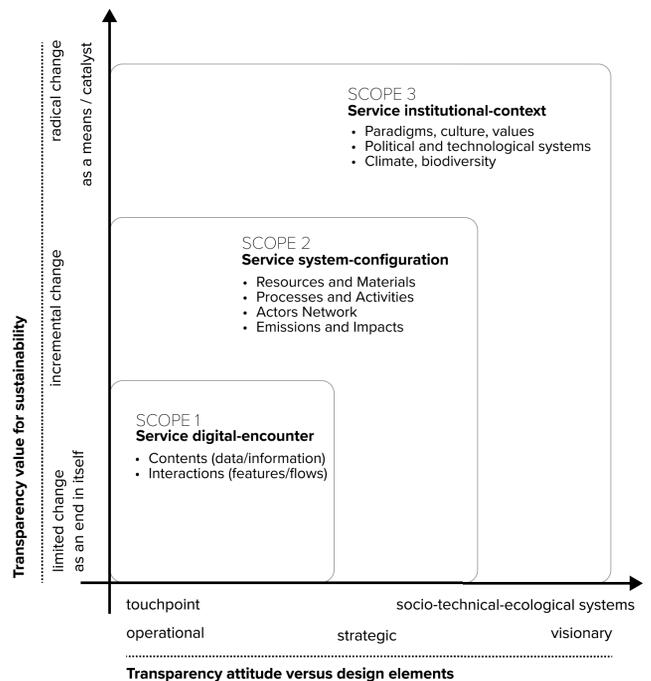


Figure 01: Scope of digital service elements for sustainability transparency.

Source: Authors, adapted from McCarthy and Fluck (2017), Albu and Flyverbom (2019), Ceschin and Gazioulosoy (2020), Morelli et al. (2021).

implying that the same service could address more than one group of elements at the same time, contributing to different transparency outcomes.

Classes of Analysis	manufacturer			technology			service			Replicable	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Service system-configuration elements											
E1	Processes/Activities	+	+	+	-	+	+/-	+	+	+	Yes
E2	Actors Network	+/-	+/-	-	+/-	-	+/-	+	+	+/-	Partial
E3	Resources and Materials	+	+	+	+	+	+	+/-	+/-	+/-	Yes
E4	Impacts and Emissions	+	+	+	+	+	-	+	+	+	Yes
Service digital-encounters											
E5	Purchase	+	+	+	+	+	+/-	+/-	-	+/-	Yes
E6	Usage	+	-	-	-	-	+/-	+	+/-	+	Partial
E7	Post-usage	+	+	-	-	-	+/-	+/-	+	+/-	No

ANALYSIS CRITERIA: + (complete adherence); +/- (partial adherence); - (not apply or not noticeable); NA (not applicable)

A replicable criterion is considered when it completely or partially applies to at least three cases.

blue (high emphasis); purple (medium emphasis); white (low or lack of).

Table 03: Case study: adherence of service elements.

Source: Authors.

4.2. Multiple case study results

This section describes the results from the multiple case study (ex-post-facto), conducted to verify the adherence of the theoretical framework with real-world phenomena. The individual and cross analysis enabled the identification of the main emphases in the cases studied, and the least noticeable.

4.2.1. Service elements

The types of content and interactions (at digital-encounter scope) identified from the sustainability communication of the cases were confronted with the service system-configuration elements to check their adherence (Table 3).

The cases from the manufacturer and service categories were the ones that obtained the higher adherence of the contents and interactions regarding the system-configuration elements. Technology cases obtained the least adherence.

The elements E3_Resources_Materials and E4_Impacts_Emissions were substantially present among the cases and with focus on environmental sustainability. Footprint content (at different levels such as industry-sector level; production-chain and product level; individuals-communities level) and branding-governance

content were the ones which mostly communicated these elements, followed by sustainability and circular support and visual contents. The types of interaction available to the users were mainly by features such as search and navigation, sustainable behavior tools, data verification, connectivity, and traceability, as a way to filter content according to the user preferences and to check the provided information.

The element E1_Processes_Activities was perceived with higher adherence among the manufacturer and service cases, emphasizing social and economic sustainability aspects. Within technology cases it was not sufficiently noticed. The E1_Processes_Activities element was mainly characterized by product-oriented content regarding production and distribution processes (such as materials production, transportation, etc.), followed by circular content (such as care, repair, and recycling activity guides) both supported by visual contents. Also, E1_Processes_Activities was mainly characterized by connectivity and traceability interaction features and user flows related to join circularity and behavior gamification.

The element E2_Actors_Network was perceived as having the least adherence among the cases, having social and economic sustainability aspects more emphasized. In manufacturer cases it was mainly characterized by footprint content at production chain level (such as

Classes of Analysis	manufacturer			technology			service			Replicable
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Ethics Characteristics of Sustainability Transparency										
C1_Honesty	+/-	+/-	+/-	+	+/-	+/-	+	+/-	+	Partial
C2_Openness	+	+	+	+	+	+	+	+	+	Yes
C3_Inclusive	+	+	+	+	+/-	-	+	+	+	Yes
Communication Characteristics of Sustainability Transparency										
C4_InformationalQuality	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	No
C5_Contextual	+	+/-	+/-	+	+	+	+	+	+	Yes
C6_Aesthetics (new)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	Yes
Value Characteristics of Sustainability Transparency										
C7_Confidence	+	+	-	+	-	+/-	+	-	+	No
C8_Understanding	+	+	+	+	+	+/-	+	+	+	Yes
C9_Actionability	+	+/-	+/-	+/-	-	+/-	+	+	+	Partial
	BM	BM	UX	UX		BM	UX/BM	UX/BM	UX	

ANALYSIS CRITERIA: + (complete adherence); +/- (partial adherence); - (not apply or not noticeable); NA (not applicable)
 A replicable criterion is considered when it completely or partially applies to at least three cases.
 UX (user experience level); BM (business model level); blue (high emphasis); purple (medium emphasis); white (low or lack of).

Table 04: Case study: adherence of sustainability transparency characteristics
Source: Authors.

where the products are made, by whom, manufacturing facilities, etc.), and it was also directly related to branding-governance contents (such as commitments and initiatives in terms of labor conditions and social responsibility). In service cases it was characterized by user's and communities self-quantified contents and participation (such as home or diet footprint, sustainability scoring, reviews, and stories). It was not possible to identify a type of interaction feature or user flow directed linked to E2_Actors_Network.

The study considered three types of service digital encounters (VOORHEES et al., 2017): a) purchase, which corresponds to exploratory navigation on the institutional pages, products page, and shopping pages; b) usage, which corresponds to the service pages supporting the effective use of the brand products and services; c) post-usage, which corresponds to the end of the product's life cycle.

Manufacturer and technology cases emphasized sustainability transparency at purchase encounters, while the cases from the service category emphasized usage encounters. It was not possible to identify contributions to post-usage encounters among the cases.

Most of the sustainability transparency contents and interactions were concentrated at the purchase encounters as a branding competitive differential and possible consumption support for users. In that sense, transparency in manufactured cases focuses on how innovative and less environmentally impactful some of the product materials are, as well as the performance related to the use of natural resources and respective emissions. Although both manufacturer cases embrace circular strategies in their business, Case_01 stands more clearly for consumption prevention and minimization, exploring transparency of consumption alternatives in their business ecosystem (e.g.: "Browse Used Jackets and Vests"; "Don't buy a new jacket"). At usage encounters from manufacturer cases, sustainability transparency was identified as a way to invite the customer to close the product cycle, reinforcing the importance of reverse logistics and the customer role for that to happen. Also, in service cases, sustainability transparency was identified as a way to learn about sustainability and guidance at individual level on how to act and the impacts of that.

4.2.2. Sustainability transparency characteristics

The sustainability transparency characteristics were identified and analyzed from the cases based on the data collected on the types of content and interactions (encounter and system-configuration elements) as signals or indicators (Table 4).

The cases from the service category were the ones that obtained a higher adherence to transparency ethical characteristics, followed by the manufacturer cases. The technology cases were the least adherent or unidentifiable. Among the three ethical characteristics, the one that obtained higher adherence among the cases was C2_Openness, followed by C3_Inclusive and C1_Honesty at last.

The analyzed cases communicate with different degrees of C2_Openness, varying the system-configuration element being opened (with emphasis on E1_Processes_Activities and E2_Actors_Network elements). Manufacturer and service cases open branding and governance content, followed by sustainability and circular support content. C2_Openness is mainly characterized by connectivity and traceability interactive features, circular and gamification interactive user flows, both as a way of getting access to available content.

Similarly, the C3_Inclusive characteristic was higher adherent in manufacturer and service cases. It was not possible to identify a type of content directed linked to C3_Inclusive characteristic, all types of content could have a contribution to that. Thus, the C3_Inclusive was mainly characterized by search, navigation, and sustainable behavior interactive tools, both as a way to filter content according to the user preferences.

C1_Honesty characteristic was perceived with partial adherence among the analyzed cases, being mainly characterized in service and technology cases by footprint indicators content (at different levels, from industry to individual level), by credentials and certifications content. Also, C1_Honesty was mainly characterized by evidence-based content (such as data verification) and user review features, as a way to check the provided information by an external source which could be a third-party company or the other users/customers.

The cases from the service and technology category were the ones that obtained higher adherence to transparency communication characteristics, followed by manufacturer cases. From the analysis of the selected cases a new transparency communication characteristic

was identified, with total adherence among the cases, named C6_Aesthetics. The C4_InformationalQuality was the least noticeable.

Besides textual format, sustainability transparency communication among the cases were enhanced by different types of visual contents, including pictures and videos (e.g., places, actors, materials etc.) and graphic symbols, illustrations, and diagrams. The C6_Aesthetics characteristic of sustainability transparency concerns the how rather than what to communicate, by making content and interactions attractive, identifiable, and meaningful to users. Also, it can support other transparency characteristics, in special C8_Understandability and C3_Inclusive. It was not possible to identify a type of interaction feature or user flow directed linked to C6_Aesthetics characteristics.

The C5_Contextual characteristic was perceived with higher adherence among the service and technology cases, mainly due to the dynamic nature of the platforms. Thus, C5_Contextual characteristic of transparency was mainly represented by custom navigation, connectivity, and traceability interactive features. Also, the types of sustainability actions, habits, or challenges in gamification interactive user flows, were perceived as a way to set custom content and interaction alternatives available to the user in a certain moment and situation.

Although the sustainability communication among the analyzed cases was perceived as having a high quality in terms of completeness, consistency, and accuracy, it was not possible to identify a type of content linked to C4_InformationalQuality characteristic, all types of content could have a contribution to that. Also, C4_InformationalQuality was mainly characterized by data verification, connectivity, and traceability interactive features, as a way to support a quality assurance on provided content.

The cases from the service category were the ones that obtained the higher adherence to transparency value characteristics, followed by the manufacturer cases. Technology cases obtained the least adherence. Among the three value characteristics, the one that achieved total adherence among the cases was C8_Understandability, followed by C9_Actionability and C7_Confidence.

The C8_Understandability characteristic was substantially present among the cases, being characterized by specific sustainability educational content (varying from blogs to product or task descriptions), by more specific circular content guides on product care, repair and

recycle. It was not possible to identify a type of interaction feature directed linked to C8_Understandability characteristics, but it was mainly perceived in circular and gamification interactive user flows, both as a way of guiding the user through a learning journey (with emphasis on E1_Processes_Activities and E2_Actors_Network elements).

C9_Actionability characteristic was perceived with higher adherence among the service cases (mainly due to the nature of the platform such as quantified-self and gamification) and among manufacturer cases. Within technology cases it was partially noticeable. C9_Actionability was mainly characterized by user's footprint scoring and ranking content, besides user generated content by features such as reviews and surveys from the experiences with the brand, products, and services. These enable the user participation at the user experience level concerning the interface. But the cases also enable the user participation at business model level by integrating circular services, gamifying, and volunteering interactive flows, as a way of enabling users' collaboration within sustainability and transparency for a group/community (with emphasis on E1_Processes_Activities and E2_Actors_Network elements).

At last, the C7_Confidence characteristic was the least perceived among the cases. In manufacturer cases, normative credentials and certifications were the main type of content used to address credibility. But in service cases, although some of them declared credentials, the main type of content perceived was the footprint calculation methodology, since those platforms offerings are more dependable of the calculation's credibility. It was not possible to identify a type of interaction feature or user flow directed linked to C7_Confidence characteristics.

4.2.3. Discussion

The analysis of the cases showed that the main value proposition linked to sustainability transparency among the digital solutions was related to supporting customers with informed decision making, for a more responsible consumption and usage of products and services (C8_Understanding).

The cases from the service category were the ones that had the greatest adherence to the transparency characteristics obtained from the literature. One of the possibilities is the nature of platforms, which provides greater personalization and interactivity for the

end-user. Also, the value proposition from the service cases were characterized by promoting sustainable behavior, which may imply the use of more active transparency strategies as encouragement.

Cases from the manufacturers and technology category had similar results between them. Unlike service cases, digital sustainability and transparency was not identified as core value proposition of manufacturers (e.g., textile, clothes, consumer goods, etc.), but to meet this criterion in their services, they rely on technological third parties. Supply chain or production chain transparency was the focus among the cases from manufacturers and technology categories. In these cases, the study showed that sustainability transparency was approached as a form of brand legitimacy and competitive differential.

Regarding the service system-configuration elements, the analysis of the cases showed a granular sustainability transparency, varying from a generic industry/sector level (manufacturer cases) to more detailed levels considering a specific product, production chain or even individual consumption or usage. Across this granularity, sustainability transparency was mainly associated with E3_Resources_Materials and E4_Impacts_Emissions content and interactions. The analysis of the cases helped to validate and refine the sustainability transparency characteristics (Figure 2).

Based on the eight characteristics identified preliminary in the literature, four had total adherence with the analyzed cases (C2_Openness, C8_Understanding, C3_Inclusive, and C5_Contextual) and two had partial adherence (C1_Honesty and C9_Actionability renamed as C9_Agency). A new characteristic was included (C6_Aesthetics), as it presented total adherence among the cases. Two characteristics were not able to notice enough evidence (C7_Confidence and C4_InformationalQuality). C4_InformationalQuality lacked adherence among the cases and a possibility was that this characteristic requires a study with primary data collection from the organizations operationalizing communication.

The analysis also showed that sustainability transparency was mediated in an asymmetric way, focusing more on certain characteristics and elements than others, resulting in different states and limited forms of value from the transparency delivered. For example, although the cases had a high degree of openness and communication, the degree of honesty was not equivalent (especially when communicating processes and actors), compromising the degree of ethical responsibility. Similarly,

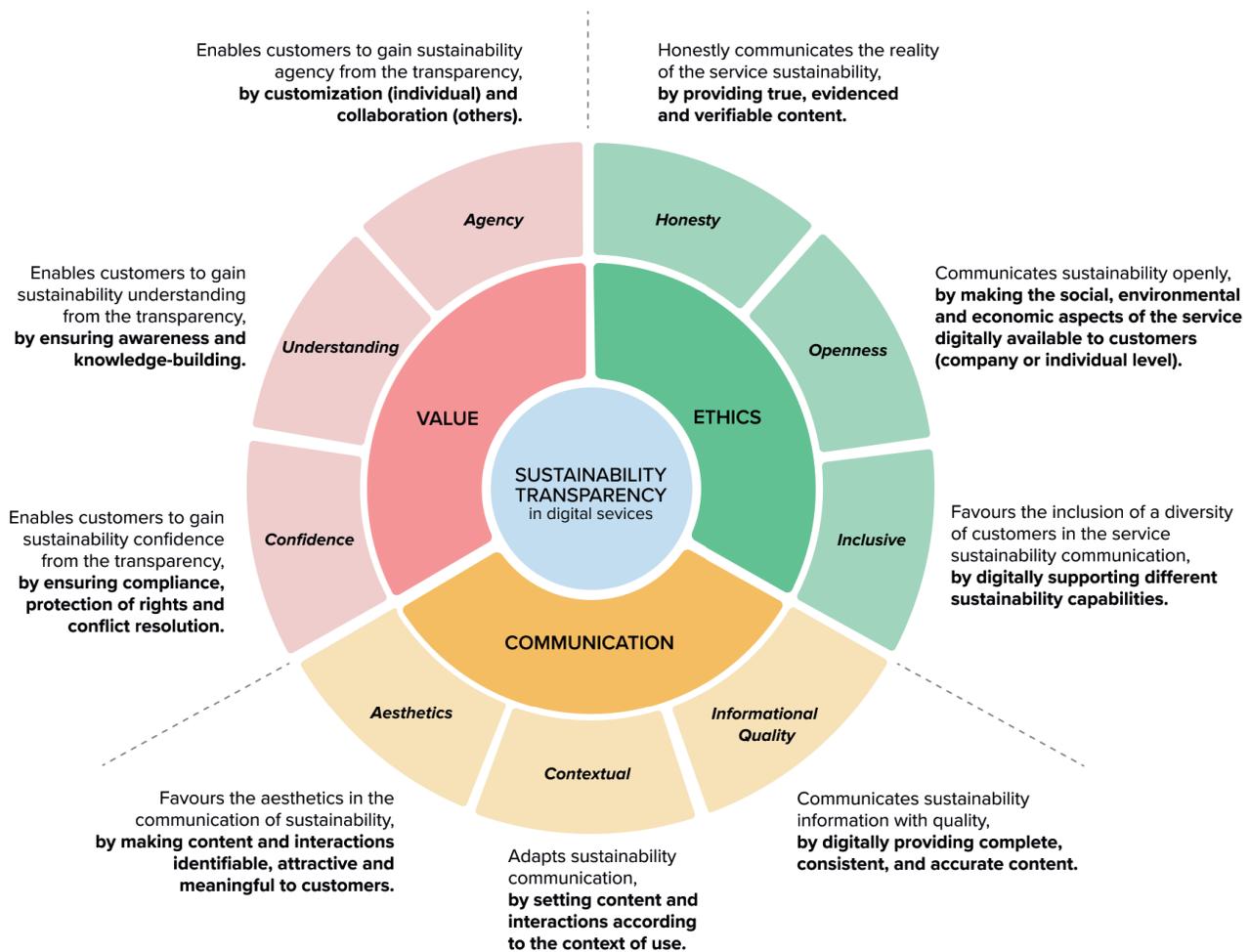


Figure 02: Scope of sustainability transparency characteristics for digital services
 Source: Authors.

most of the cases emphasized the disclosure of sustainability content, rather than the possible user interaction, resulting in limited forms of value from transparency experience.

Transparency is an opportunity to bring the customer closer to the service and awaken a bond with the places, activities, and people. The more detached the customer is from that reality or production-consumption system, the more it becomes necessary to explore the different transparency characteristics and service elements through digital mechanisms. According to Bizzocchi and Woodbury (2003), the level of interactivity and the expression of a customer's choice are central aspects in the design of more iterative narratives, where the focus is not on the design of the sequence of events but on the configuration of an environment (world) for the user to explore.

5. FINAL CONSIDERATIONS

This paper presented a study proposing a framework that describes the characteristics of transparency for sustainability and the key elements for a design approach in digital services. For that, the study conducted a literature review to understand the historical evolution of the concept and the key constructs that supported the development of the framework. Then, an exploratory multiple case study (ex-post-facto) was conducted to help validate and refine the framework.

The framework can be used to understand what transparency for sustainability means, the implications and scope for approaching the concept in service design. The types of content and interactions from the platforms can be used as signals or indicators of sustainability transparency in digital services, supporting a preparatory approach to map the current sustainability transparency scenario. Although this case study was limited to secondary data sources, it's also recommended to extend the study

with primary data sources (company and user) to confront the results. From that, transforming the framework into practical instruments such as tools, protocols, and guides for the design processes could be a future direction.

REFERENCES

ALBU, Oana B. and FLYVERBOM, Mikkel. Organizational Transparency: Conceptualizations, Conditions, and Consequences. **Business & Society**, v.58, n.2, p.268-297, 2019, <https://doi.org/10.1177/0007650316659851>

ALLOA, Emmanuel and THOMÄ, Dieter. Transparency, **Society and Subjectivity: Critical Perspectives**. Palgrave Macmillan, 2018, 408p.

BAGHERI, A.; HJORTH, P. Planning for sustainable development: A paradigm shift towards a process-based approach. **Sustainable Development**, v.15, n.2, p.83-96, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13153>

BALL, Carolyn. What Is Transparency? **Public Integrity**, v.11, n.4, p.293-308, 2009, <https://doi.org/10.2753/PIN1099-9922110400>

GIANNETTI, B.F.; SEVEGNANI, F.; ALMEIDA, C. M.V.B.; AGOSTINHO, F.; MORENO GARCÍA, R. R.; LIU, G. Five sector sustainability model: A proposal for assessing sustainability of production systems, **Ecological Modelling**, v.406, p.98-108, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.06.004>

BIZZOCCHI J; WOODBURY, RF. A Case Study in the Design of Interactive Narrative: The Subversion of the Interface. **Simulation & Gaming**, v.34, n.4, p.550-568, 2003, <https://doi.org/10.1177/1046878103258204>

BUMBLAUSKAS, D.; NOLD, H.; BUMBLAUSKAS, P.; IGOU, A. Big data analytics: transforming data to action. **Business Process Management Journal**, v.23, n.3, p. 703-720, 2017. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-03-2016-0056>

CESCHIN, Fabrizio.; GAZIULOSOY, Ídil. Design for sustainability: a multilevel framework from products to socio-technical systems. London: **Routledge Focus**, 2020. 186p.

CONFORTO, E.C.; AMARAL, D.C. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO - CBGDP**, 8, Porto Alegre, 2011. Porto Alegre, 2011.

DENNETT, Daniel C.; ROY, Deb. Our transparent future. *Scientific American*, **Science and Society**, 2015.

EDVARDSSON, B.; GUSTAFSSON A. and ROOS, I. Service portraits in service research: a critical review. **International Journal of Service Industry Management**, v.16, n.1, p.107-121, 2005, <https://doi.org/10.1108/09564230510587177>

EGGERT, Andreas and HELM, Sabrina. Exploring the impact of relationship transparency on business relationships: A cross-sectional study among purchasing managers in Germany, **Industrial Marketing Management**, v.32, n.2, p.101-108, 2003, [https://doi.org/10.1016/S0019-8501\(02\)00224-9](https://doi.org/10.1016/S0019-8501(02)00224-9)

FLUCK, Matthew. Theory, 'truthers', and transparency: Reflecting on knowledge in the twenty-first century. **Review of International Studies**, v.42, n.1, p.48-73, 2016, <https://doi.org/10.1017/S0260210515000091>

GLUSKO, Robert J. Seven Contexts for Service Design, in *Handbook of Service Science*, Paul P. Maglio, Cheryl A. Kieliszewski, and James C. Spohrer, eds. New York, NY: **Springer Verlag**, p.219-250, 2010.

GRIMMELIKHUIJSEN, Stephan. **Transparency and trust: an experimental study of online disclosure and trust in government**. 2012. 291 p. Dissertation, Utrecht University, Netherlands.

GRIMMELIKHUIJSEN, Stephan and Welch, Eric. Developing and testing a theoretical framework for computer-mediated transparency of local governments. **Public Administration Review**, v.72, n.4, p.562-571, 2012, <https://doi.org/10.1111/j.1540-6210.2011.02532.x>

FELZMANN, Heike; FOSCH-VILLARONGA, Eduard; LUTZ, Christoph and TAMÒ-LARRIEUX, Aurelia. Towards Transparency by Design for Artificial Intelligence. **Science and Engineering Ethics**,

v.26, p.3333–3361, 2020, <https://doi.org/10.1007/s11948-020-00276-4>

FIESER, James. **Ethics: The Internet Encyclopedia of Philosophy**, ISSN 2161-0002, 2021, Available in: <<https://iep.utm.edu/>>.

FLUCK, Matthew. Theory, 'truthers', and transparency: Reflecting on knowledge in the twenty-first century. **Review of International Studies**, v.42, n.1, p.48-73, 2016, <https://doi.org/10.1017/S0260210515000091>

FUNG, Archon; GRAHAM, Mary and WEIL, David. **Full Disclosure: The Perils and Promise of Transparency**, Cambridge University Press, Cambridge, 2007, 302p.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

HARTWIG, Katharina; BILLERT, Matthias Simon. Measuring Service Quality: A Systematic Literature Review. In: **European Conference on Information Systems (ECIS)**, Portsmouth, 2018.

HOSSEINI, Mahmood; SHAHRI, Alimohammad; PHALP, Keith and ALI, Raian. Four reference models for transparency requirements in information systems, **Requirements Engineering**, v.23, n.2, p.251-275, 2018, <https://doi.org/10.1007/s00766-017-0265-y>

JANNING, Finn; KHLIF, Wafa and INGLEBY, Coral. **The Illusion of Transparency in Corporate Governance**, Palgrave Macmillan, 2020, 168p.

KOIVISTO, Ida, The anatomy of transparency: the concept and its multifarious implications, EUI MWP, 2016/09 Retrieved from Cadmus, European University Institute Research Repository, at: <http://hdl.handle.net/1814/41166>

KOSACK, Stephen and FUNG, Archon. Does Transparency Improve Governance, **Annual Review of Political Science**, v.17, p. 65-87, 2014, <https://doi.org/10.1146/annurev-polisci-032210-144356>

LUSCH, R. F. and VARGO, S. L. **Service-dominant logic: Premises, perspectives, possibilities**, Cambridge University Press, 2014.

LUSCH, R. F. and NAMBISAN, S. Service Innovation: A Service-dominant logic perspective, **MIS Quarterly**, v.39, n.1, p.155-175, 2015, <https://doi.org/10.25300/MISQ/2015/39.1.07>

MABILLARD, Vincent and ZUMOFEN, Raphael. The complex relationship between transparency and accountability: A synthesis and contribution to existing frameworks. **Public Policy and Administration**, v.32, n.2, p.110–129, 2017, <https://doi.org/10.1177/0952076716653651>

MAGER, Birgit; CORONA, Carolina; RUIZ, Kalia, et al. **The Future of Service**, 2020, 81p.

MAGLIO, P.P.; KIELISZEWSKI, C.A. and SPOHRER, J.C. **Handbook of Service Science**, Springer, New York, NY, 2010, 706p.

MCCARTHY, Daniel and FLUCK, Matthew. The concept of transparency in International Relations: Towards a critical approach. **European Journal of International Relations**, v.23, n.2, p.416-440, 2017, <https://doi.org/10.1177/1354066116651688>

MEIJER, Albert. Government Transparency in Historical Perspective: From the Ancient Regime to Open Data in The Netherlands, **International Journal of Public Administration**, v.38, n.3, p.189-199, 2015, <https://doi.org/10.1080/01900692.2014.934837>

MICHENER, Gregory and BERSCH, Katherine. Identifying transparency. **Information Polity**, v.18, p. 233–242, 213, <https://ssrn.com/abstract=3290813>

MOL, Arthur P. J. The Future of Transparency: Power, Pitfalls and Promises. **Global Environmental Politics**, v.10, n.3, p.132–143, 2010, https://doi.org/10.1162/GLEP_a_00018

MORELLI, Nicola; GÖTZEN, Amalia de; SIMEONE, Luca. Service Design Capabilities. **Springer Series in Design and Innovation**, Copenhagen, 2021, 99p.

NICASTRO, Marcella Lomba. **Modelo para diagnóstico da transparência em serviços digitais para o consumo mais sustentável de alimentos**. 2020. 209 p. Dissertação (Mestrado em Design) – Programa de Pós-graduação em Design, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

OLIVER, Richard W. **What is Transparency?** New York: McGraw-Hill, 2004, 98p.

PASQUIER, Martial and VILLENEUVE, Jean-Patrick. Organizational barriers to transparency: A typology and analysis of organizational behavior tending to prevent or restrict access to information. **International Review of Administrative Sciences**, v.73, n.1, p.147-162, 2007, <https://doi.org/10.1177/0020852307075701>

PATRÍCIO, L.; FISK, R. P.; FALCÃO e CUNHA, J.; CONSTANTINE, L. Multilevel Service Design: From Customer Value Constellation to Service Experience Blueprinting. **Journal of Service Research**, v.14, n.2, p.180-200, 2011, <https://doi.org/10.1177/1094670511401901>

PENIN, Lara. **An Introduction to Service Design: Designing the Invisible**. London: Bloomsbury Publishing, 2017. 334p.

PRESTES JOLY, M.; TEIXEIRA, J.G., PATRÍCIO, L.; SANGIORGI, D. Leveraging service design as a multi-disciplinary approach to service innovation, **Journal of Service Management**, v.30, n.6, p. 681-715, 2019, <https://doi.org/10.1108/JOSM-07-2017-0178>

SANGIORGI, D. Transformative Services and Transformation Design. **International Journal of Design [Online]**, v.5, n.2, p.29-40, 2011, <http://www.ij-design.org/index.php/IJDesign/article/view/940/344>

SANGIORGI, Daniela and PRENDIVILLE, Alison. **Designing for Service: Key Issues and New Directions**, Bloomsbury Publishing, 2017, 281p.

SANTOS, Aguinaldo dos et al. **Design para a Sustentabilidade: Dimensão Ambiental**. Curitiba: Ed. Insight. 2018. 180p.

SANTOS, Aguinaldo dos et al. **Design para a Sustentabilidade: Dimensão Econômica**. Curitiba: Ed. Insight. 2019. 148p.

SANTOS, Aguinaldo dos et al. **Design para a Sustentabilidade: Dimensão Social**. Curitiba: Ed. Insight. 2019. 148p.

SCHIEFER, Gerard; DEITERS, Jivka. **Transparency in**

the Food Chain. Bonn: Universität Bonn-ILB Press, 2013. 371 p.

SCHNACKENBERG, Andrew K. and TOMLINSON, Edward C. Organizational Transparency: A New Perspective on Managing Trust in Organization-Stakeholder Relationships. **Journal of Management**, v.42, n.7, p.1784-1810, 2016, <https://doi.org/10.1177/0149206314525202>

SPOHRER, J.; VARGO, S. L.N.; Caswell; MAGLIO, P. P. The Service System Is the Basic Abstraction of Service Science, **Proceedings of the 41st Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS 2008)**, Waikoloa, HI, USA, p.104-104, 2008, <https://doi.org/10.1109/HICSS.2008.451>

VOORHEES, C. M.; FOMBELLE, P. W.; GREGOIRE, Y.; BONE, S.; GUSTAFSSON, A.; SOUSA, R.; WALKOWIAK, T. Service encounters, experiences and the customer journey: Defining the field and a call to expand our lens. **Journal of Business Research**, v.79, p.269-280, 2017, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbusres.2017.04.014>

ZAKI, M. Digital transformation: harnessing digital technologies for the next generation of services, **Journal of Services Marketing**, v.33, n.4, p.429-435, 2019. <https://doi.org/10.1108/JSM-01-2019-0034>

WEF - World Economic Forum. **The Fourth Industrial Revolution: What It Means, How to Respond**, 2017. Available in <<https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/>>.

WETTER-EDMAN, Katarina; SANGIORGI, Daniela; EDVARDSSON, Bo; HOLMLID, Stefan; GRÖNROOS, Christian, MATTELMÄKI, Tuuli. Design for Value Co-Creation: Exploring Synergies Between Design for Service and Service Logic. **Service Science**, v.6, n.2, p.106-121, 2014. <http://dx.doi.org/10.1287/serv.2014.0068>

YIN, R. K. **Estudo de Caso: planejamento e métodos**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the Brazilian National Council for Scientific and Technological Development (CNPq).

AUTHORS

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3810-7041>

MARCELLA LOMBA NICASTRO, Doutoranda | Universidade Federal do Paraná | Design | Curitiba, PR - Brasil | Correspondência para: Núcleo de Design e Sustentabilidade, Edifício Dom Pedro I, Rua General Carneiro, 460, sala 717 Centro, 80060150 | E-mail: marcellaln@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8645-6919>

AGUINALDO DOS SANTOS, Dr. | Universidade Federal do Paraná | Design | Curitiba, PR - Brasil | Correspondência para: Núcleo de Design e Sustentabilidade, Edifício Dom Pedro I, Rua General Carneiro, 460, sala 717 Centro, 80060150 | E-mail: asantos@ufpr.br

HOW TO CITE THIS ARTICLE

NICASTRO, Marcella Lomba; SANTOS, Aguinaldo dos. MIX Sustentável, v. 9, n. 3, p. 181-199, 2023.

ISSN 2447-3073. Available at: <http://www.nexus.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>. Accessed at: [_/_/_](#).

doi: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n3.181-199>.

SUBMITTED AT: 11/03/2023

ACCEPTED AT: 04/05/2023

PUBLISHED AT: 30/07/2023

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

Record of authorship contribution:

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

MLN: Conceptualization, methodology, data curation, formal analysis, writing – original draft, writing – review and editing

AS: Conceptualization, methodology, supervision, writing – review and editing

Declaration of conflict: nothing was declared.

DE UMA FENOMENOLOGIA DO DESIGN: UMA INVESTIGAÇÃO SOBRE O FUNDAMENTO DAS RELAÇÕES DE USO FACE AO PROPÓSITO DE MANUTENÇÃO DA VIDA

MARLI TERESINHA EVERLING. Dra. I UNIVILLE - Universidade da Região de Joinville, Brasil.

ROBERTO KAHLMEYER MERTENS. Dr. I UNIOESTE - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil.

1. INTRODUÇÃO

O Objetivo principal do estágio de pós-doutoramento consistiu em explorar conceitos filosóficos, das obras de Martin Heidegger, Hannah Arendt e Hans Jonas, que pudessem fundamentar as relações de uso, com vista ao design, e com o propósito da manutenção da vida.

Para tanto foi estabelecida a sequência de leituras de "A Condição Humana" de Arendt (2020) e do "Princípio Responsabilidade" de Jonas (2006) e por último, e mais indiretamente, "Ser e Tempo" (Sein und Zeit) de Heidegger (2012). As referências secundárias foram conectadas com "design", "educação ambiental" e "crise ecológica", alguns dos quais serão mencionados ao longo do texto. A pesquisa iniciou com a leitura de reconhecimento dos textos primários e constante realinhamento da bibliografia secundária; após, foram redigidos textos que progrediram para artigos.

2. RESULTADOS

A primeira etapa investigou em Arendt (2020), termos do seu discurso que, ocasionalmente, aparecem na literatura do design. Estes termos são "homo faber" e "obra". À medida que diálogos avançavam observamos que leituras sobre "utensiliaridade", "instrumentalidade" e "utilidade" contribuiriam com a linha de pensamento. Por causa da sua natureza interdisciplinar, o design pode ser conceituado a partir das lentes da sociologia, da antropologia, da arte, da produção, da gestão, dos materiais, entre tantas outras. A discussão foi alinhada com a perspectiva em sociedade/usuário/objeto/meio ambiente que se materializa nos cursos de design por meio de disciplinas como "ergonomia", "antropologia" e "sustentabilidade". Os resultados foram publicados sob

o título "Design e relações de uso à luz de A condição humana, de Hannah Arendt" no ebook Studium 2022.

A segunda etapa partiu da consideração dos complexos desafios em que a tecnologia crescentemente se apodera de processos produtivos e decisórios sem a interferência humana e no qual o design se constitui em um dos campos do conhecimento que participa da configuração das relações entre o ser, o meio e a cultura material. Nesse sentido, o estudo objetivou compreender o pensamento de Jonas (2006) e investigar indícios contribuintes à elaboração de critérios éticos auto-regulatórios para o campo do design, traduzindo significados associados que possam orientar a profissão situando a vida na Terra no centro do processo. Os resultados apresentaram pistas para articular o Princípio responsabilidade em termos de design, bem como contradições; foram publicados sob o título "Do design e de uma ética coerente à vida, um ensaio com Hans Jonas" na revista Aoristo.

A terceira etapa objetivou discutir significados associados ao artificial, mais precisamente, o termo "mundo artificial", presente em Arendt (2020) e em Designerly Ways of Knowing de Nigel Cross (2004). A etapa abrangeu: (i) análise do conceito em Arendt e sua relação com as instrumentalidade, metabolismo, reificação e cultura; (ii) identificação e análise dos autores que influenciaram a formulação do termo "mundo artificial" proposto por Cross; (iii) articulações entre aspectos relacionados à ética para vida abordados por Jonas (2006) com "A Política do Artificial" de Victor Margolin (2014), "Defuturing" de Tony Fry (2020) e questões relacionadas à crise ecológica discutidas em "The Enemy of Nature" de Joel Kovel (2002). Os resultados interrelacionaram, em primeiro lugar, "mundo artificial", "obra" "trabalho", "ação", "homo faber", "metabolismo", "instrumentalidade", "reificação",



"cultura" e "crise ecológica"; em segundo lugar apresentaram significados associados a "mundo artificial construído" no campo do design. O artigo "Do artificial e do design em um contexto de crise ecológica" que discorre sobre os resultados está em vias de submissão".

A quarta e última etapa trouxe Heidegger para o primeiro plano da discussão. O propósito foi revisitar práticas de educação ambiental ancoradas no design com ênfase na sustentabilidade para ampliar fundamentos conceituais; para isso elaboramos umnexo entre o humano e meio-ambiente face ao tema da educação ambiental e à dimensão pragmática do design. As posições, visões e conceptualidades dos autores foram apresentadas e apropriadas de modo a servir como matéria para compreender temas e questões referentes à complexidade, design, educação ambiental, design para inovação social e temas relacionados a ser-no-mundo/habitar em uma perspectiva filosófica e de crise ecológica. Os resultados foram publicados no Dossiê "Nossa vida, Nosso Planeta, Nossa Saúde" da revista Confluências Culturais sob o título "Design, Educação Ambiental e Ser-no-Mundo: Elementos para uma Hermenêutica da Complexidade e da Sustentabilidade".

REFERÊNCIAS

ARENDT, H. **A Condição Humana**. 13a ed. São Paulo: Editora Forense. 2020.

CROSS, N. **Desenhante: pensador do desenho**. Org. & Trad. Lígia Medeiros. Santa Maria, sCHDs, 2004.

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. Aoristo - **International Journal of Phenomenology, Hermeneutics and Metaphysics**, v. 5, n. 2. 2022. PP. p. 210-227.

EVERLING, M. T. 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

FRY, T. **Defuturing - A New Design Philosophy**. Bloomsbury, London, 2020. Versão Kindle.

HEIDEGGER, M. **Sein und Zeit. Tübingen**, Max Niemeyer Verlag, 13a ed. 1976.

JONAS, H. **O Princípio Responsabilidade** – Ensaio de uma Ética para a Civilização Tecnológica. Rio de Janeiro : PUC-RIO. 2006.

KOVEL, J. **The Enemy of Nature: The End of Capitalism or the End of the World?** Zeed books, London, 2002.

MARGOLIN, V. **A Política do Artificial**., Editora Civilização Brasileira, Rio de Janeiro, 2014.

DESIGN ECOSISTÊMICO: PRINCÍPIOS TEÓRICOS E EXPERIMENTOS DE UMA ABORDAGEM REGENERATIVA PARA O DESIGN

CORAL MICHELIN, Dra. | UAM - Universidade Anhembi-Morumbi, Brasil
PRISCILA A.C. ARANTES, Dra. | UAM - Universidade Anhembi-Morumbi, Brasil

1. INTRODUÇÃO

Estamos passando por um momento de transição planetária, em que as estruturas formativas da realidade contemporânea, desde os domínios moleculares da subjetividade até os sistemas geopolíticos globais, encontram-se em crise. A principal delas, no entanto, é a crise climática e ambiental, decorrente da degradação dos ecossistemas terrestres e dos modos produtivos modernos. Tal conjuntura tem origem em — e foi criada por — uma visão de mundo limitada, caracterizada pelo eurocentrismo, pelo antropocentrismo e pelo logocentrismo, aqui chamada de visão de mundo euroantropocêntrica. Vemos que o design contemporâneo, baseado em tal visão, contribui para a ruptura das condições que dão suporte à vida do planeta. E que, assim, precisamos perguntar como pode o design estimular visões de mundo e práticas projetuais voltadas para a regeneração? Diante do colapso que se anuncia, o design, como campo de produção do mundo material, começa a assumir a devida responsabilidade pela participação que tem nessa crise e já apresenta uma série de abordagens que apontam caminhos alternativos, como o Transition Design, o Design Regenerativo, o Design Ecopositivo, entre outras. Ainda assim, algumas abordagens encontradas e estudadas parecem se localizar no domínio euroantropocêntrico, ou se apresentam por meio de um viés pouco prático, isto é, demasiadamente teórico. Por isso, o objetivo da tese esteve em delinear uma abordagem de design, chamada de Design Ecosistêmico (D'Eco), que contenha princípios ou métodos projetuais para auxiliar na regeneração de ecossistemas locais, tendo como premissa a regeneração da visão de mundo do sujeito-projetista. A fim de alcançar tal objetivo, a pesquisa apresentada se baseou em dois movimentos principais de investigação: primeiro, a revisão bibliográfica, de livros e periódicos, nacionais e internacionais, dentro das áreas do Design, da Ecologia,

da Sociologia, da Antropologia, da Biologia, entre outros campos cujos temas estivessem diretamente relacionados aos interesses de construção do D'Eco. Segundo, a pesquisa aplicada, que consistiu na proposição e na aplicação de diferentes exercícios e experimentos projetuais que tiveram como fundamentos o corpus teórico do primeiro movimento. Dado o contexto da pandemia de Covid-19 que ocupou quase três dos quatro anos de doutorado, o local escolhido para conduzir a pesquisa aplicada foi a sala de aula, espaço que se mostrou propício e aberto à experimentação e à construção coletiva. Assim, a tese apresenta as bases teóricas que dão sustento para o D'Eco, bem como os experimentos projetuais conduzidos neste ambiente educacional. Esses dois universos — da teoria e da prática — respondem ao objetivo posto e se constituem, ao fim e ao cabo, como os princípios e métodos que visam à regeneração de ecossistemas locais e que, de alguma forma, têm um potencial para estimular visões de mundo relacionais naqueles que se envolvem na ação projetual.

2. MÉTODO

O problema da investigação se define por: “o Design contemporâneo, baseado na visão de mundo euroantropocêntrica, contribui para a ruptura das condições que dão suporte à vida do planeta. Diante da possibilidade do colapso, como pode o design estimular visões de mundo e práticas projetuais voltadas para a regeneração?” Para responder tal questão, a pesquisa se configurou em um tipo exploratório e aplicado, de viés transdisciplinar, buscando subsídio nos diferentes campos do conhecimento que fazem a crítica ao que aqui chamamos de visão de mundo euroantropocêntrica, ou que experimentam a regeneração por meios teóricos, práticos ou ontológicos. A parte aplicada se deu de forma autoral, na exploração da autora como designer e professora de design. Pela natureza de



tal investigação, o objetivo da pesquisa foi se delineando aos poucos e de forma orgânica, respeitando os tempos necessários para acontecerem os movimentos de exploração-decupagem-proposição-aplicação empreendidos ao longo do percurso. Desde o princípio, contudo, estava claro que o desejo era propor o D'Eco, um design voltado para a regeneração de ecossistemas.

Os experimentos projetuais, referentes à parte aplicada da pesquisa, foram criados tendo o Design Estratégico como base, e insumos — na forma de princípios, exemplos ou ferramentas — vindos das outras três abordagens do design que inspiram o D'Eco, a saber: o Transition Design, o Design Crítico Especulativo e o Design Regenerativo. Foram criados quatro experimentos, entre 2020 e 2022: 1) um método de criação de cenário futuro ecossistêmico; um toolkit para provocar deslocamentos subjetivos chamado de Personagens Ecológicos; 3) um percurso metodológico; e 4) uma imersão proposta na forma de um curso de fim de semana. Com exceção do último experimento, os outros três foram rodados, em diferentes contextos, sobretudo dentro do educacional. Todos os exercícios tinham por finalidade testar os princípios que foram se delineando ao longo do desenvolvimento da pesquisa — sendo o principal objetivo aquele de provocar visões de mundo regeneradas nos participantes das ações.

3. RESULTADOS

Cada experimento realizado traz seus próprios resultados, cada qual contribuindo com um passo a mais no cumprimento do objetivo da pesquisa. A construção de cenário futuro ecossistêmico foi executada por cinco grupos diferentes: uma turma de graduação do IED-SP, três grupos de participantes convidados ou inscritos em uma chamada aberta ao público e uma turma de graduação da École Intuit Lab. Em todos os testes, os participantes conceberam cenários futuros em que a presença da “natureza” (flora e fauna além-humana) se fazia mais presente, em que saberes ancestrais eram acessados, em que a diversidade aparecia como equidade humana, entre outros fatores que, analisados, apontam para visões de mundo regeneradas. Os Personagens Ecológicos tiveram origem em um dos exercícios de construção de cenário, e foram dali deslocados por terem demonstrado um potencial interessante de trabalho. O exercício, executado desatrelado do cenário em duas ocasiões, propõe que o participante da ação se coloque no lugar de um personagem que pertence ao ecossistema local (onde as

pessoas em ação se localizam), uma espécie da fauna, flora ou topologia do território, para então criar o que lhe for proposto, desde o cenário futuro até projetos mais complexos como o modelo de negócios de uma empresa ou um produto de uma marca de roupa. Também foram criados personagens sociais, a partir da subversão dos dados demográficos brasileiros, de modo que os participantes se colocassem frequentemente no lugar de pessoas pertencentes a grupos minorizados do nosso contexto social contemporâneo. Relatos coletados mostram que o exercício do deslocamento subjetivo, sobretudo o deslocamento além-humano, provoca reflexões naqueles que participam — o que é uma contribuição, ainda que diminuta, para o propósito do D'Eco. Já o percurso metodológico foi realizado em duas condições bastante diferentes: a primeira, durante a pandemia, em distanciamento social; a segunda, já dentro do ambiente presencial. Desta forma, os resultados foram bastante diferentes em cada execução, sendo o primeiro de caráter mais especulativo e o segundo mais experimental. A proposta do método consiste em conduzir os participantes em um percurso projetual que visa regenerar ecossistemas degradados. Dentro das possibilidades do momento, o método foi testado com duas turmas de Design de Produto e Serviço do IED-SP, em que os alunos deveriam projetar embalagens. Assim, o percurso fazia com que o material das embalagens fosse concebido para regeneração. No âmbito da turma presencial, foram desenvolvidos bioplásticos, compósitos e papéis com grande potencial de regeneração. Todos esses experimentos deram sustento aos 11 princípios da abordagem ecossistêmica, propostos pela pesquisa.

4. CONCLUSÕES

Estamos em transição. Uma que possivelmente perdurará por décadas ainda — se tivermos sucesso em direcionar nossos esforços para um avanço revolucionário. Estamos dando os primeiros passos, ainda, nesse caminho, entendendo o que e como é preciso desconstruir, para então abrir caminho para o novo se estabelecer. O novo já está surgindo: são inúmeros projetos, estudos, cursos e iniciativas que vão desde esferas práticas da restauração florestal até esferas mais sutis da cura psicológica e do autoconhecimento. Diante desse contexto, a pesquisa feita traz suas contribuições, ainda que embrionárias, dadas as dificuldades impostas pela pandemia. Onde o percurso falhou, para uma realização mais “completa” do seu objetivo? Na quantidade e na diversidade dos experimentos conduzidos. Ou seja, a quantidade poderia ter ajudado

a entregar métodos com (por exemplo) processos, instruções ou materiais mais finalizados; e a diversidade de públicos poderia ter resultado em princípios informados por essa mesma diversidade — de visões de mundo, crenças, etc. Ainda assim, apesar dessa falha, entendemos que alguns experimentos podem ser usados em contextos para além desta pesquisa — como os Personagens Ecológicos ou o percurso metodológico — o que talvez valide-os como métodos, ainda que não tão bem finalizados. Acreditamos que os princípios da abordagem ecológica trazem algumas contribuições, que podem ser somadas aos princípios usados pelo Regeneration, como direcionamentos para práticas projetuais regenerativas — de ecossistemas ou de visões de mundo. Algumas linhas de fuga apontam possíveis caminhos futuros: o aprofundamento do pensamento ecológico no contexto educacional do design. Como podem os princípios (ou métodos) do D'Eco informar práticas pedagógicas que estimulam projetos regenerativos ou ecológicos? Seria possível formar uma turma de projetistas regenerativos? Quais práticas seriam necessárias para tanto? Na tripla dos biomateriais, podemos pensar como produzir materiais para diferentes usos, em um contexto de indústrias globais, que sejam regenerativos de ecossistemas locais? Que materiais podem ser desenvolvidos, a partir da lógica ecológica? Por fim, a imersão não realizada está na lista de “tarefas a fazer” em um futuro breve: qual será o resultado da imersão nas subjetividades dos participantes? Serão eles provocados com processos de resubjetivação? Terão efeito os materiais pensados para atuar como ritornelos para estimular o pensamento ecológico?

TÉCNICAS DA JOALHERIA SUSTENTÁVEL PARA GRUPO SOCIAL VULNERÁVEL

ANA BEATRIZ AVELINO BARBOSA | UEM - Universidade Estadual de Maringá, Brasil.

CRISTINA DO CARMO LUCIO BERREHIL EL KATTEL | UEM - Universidade Estadual de Maringá, Brasil.

1. INTRODUÇÃO

A dimensão social do Design para a Sustentabilidade possui algumas formas possíveis de abordagem para os diferentes públicos (SANTOS, et al, 2019), sendo que para este trabalho foi preferível a busca de soluções para mulheres em situação de vulnerabilidade social, mais especificamente para adictas de um centro de reabilitação, localizado em Maringá, no noroeste do Paraná.

Com o objetivo de atuar nesse segmento social do design, decidiu-se abordar o desenvolvimento de joias, cuja aplicação é plausível devido à possibilidade de desenvolvimento com valores agregados. A escolha da joalheria é associada pela sua relevância simbólica desde os primórdios, (SALEM, 1998), com importância histórica e valorização simbólica, também como representação de status, pertencimento social, e outros tipos pertinentes a cada cultura que a utiliza (SKODA, 2012).

Além desta, torna-se relevante pela necessidade do desenvolvimento sócio-ambiental e econômico, e potencial de inovação dentro da área do Design (MANZINI, 2008). Sendo que, como foi utilizado estes assuntos para um trabalho de conclusão de curso, focou-se no "Desenvolvimento de processos e técnicas para joalheria sustentável, utilizando resíduos sólidos urbanos, visando a confecção de catálogo para geração de renda de mulheres em situação de vulnerabilidade social" de maneira a propor soluções utilizando resíduos sólidos urbanos, com potencial de reciclagem, da região de Maringá-PR como matéria-prima.

Inclui-se, neste projeto, a importância de repensar sobre os resíduos gerados. Isso pois o caso estudado para o trabalho, que se baseou no método de pesquisas documentais, normativas, de campo com setores envolvidos e também estudos de caso com abordagem prática e curso para comprovação de aplicação projetual com o público escolhido, revelou que os materiais que as mulheres mais possuíam familiaridade eram os que eram envolvidos em centros de reciclagem, local onde muitas trabalharam antes de serem adictas. Portanto, os dados revelaram a possibilidade de

confecção de peças ser uma área de sucesso, por terem sido encontrados processos que sejam menos onerosos e que as mulheres conseguiriam desenvolver.

A importância do projeto também está na inserção de pautas mundiais (ONU MULHERES, 2016), sendo que, em 2018, a ONU Mulheres criou um projeto em parceria à Movimento Mulher 360, com o objetivo de contribuir para o empoderamento econômico feminino na indústria de modo geral. Além disso, a questão da igualdade de gênero, incentivo à geração de renda e incentivo a comunidades sustentáveis e produção consciente estão presentes em alguns dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU.

REFERÊNCIAS

MANZINI, Ezio. **Design para inovação social e sustentabilidade**: Comunidades criativas, organizações colaborativas e novas redes projetuais. Rio de Janeiro: E- papers, 2008.

ONU MULHERES. **Empoderamento Econômico**: Igualdade de remuneração e corresponsabilidade de cuidados. Brasil: 2016. Disponível em: <<http://www.onumulheres.org.br/areas-tematicas/empoderamento-economico/acoes-com-governos/>>. Acesso em: 23 jan 2023.

SALEM, C. **Joias criação e design**. 2. ed., rev. e ampl [S.l.]: 2000 Joias, c1998. 191 p., il. (algumas color.) + apêndice. ISBN 9788599303733.

SANTOS, Aguinaldo dos. et al. **Design para a sustentabilidade: dimensão social**. Curitiba: Insight, 2019.

SKODA, S. M. O. G. **Evolução da Arte da Joalheria e a Tendência da Joia Contemporânea Brasileira**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2012. pp. 27-190.



IDEIAS POSTAS EM PRÁTICAS: O LUGAR DA CRIATIVIDADE E DA EXPERIMENTAÇÃO NO DESIGN CONTEMPORANEO

ARTHUR HENRIQUE DOS SANTOS, Me. | UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil
BEANY GUIMARÃES MONTEIRO, Dra. | UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil

1. RESUMO

O design hoje é um campo muito mais abrangente e fértil do que em outras épocas. Por isso mesmo a dissertação tem início pelas tentativas de definição do design. Muitos trabalhos sobre design começam com definições oficiais ou com a etimologia da palavra. Talvez fosse redundante persistir nesse caminho, elencando definições e conceitos de e sobre design, porém essa insistência se mostra válida, uma vez que as variadas definições adotadas pelos designers em seu discurso podem ter muito a revelar quando confrontadas com a sua prática do design. Mantendo-se ainda ligado à questão terminológica, são apresentados outros conceitos relacionados ao tema da pesquisa, mas especificamente à criatividade e as metodologias criativas, além de outros recorrentes na literatura examinada. Dentre esses, destacam-se: processo, método e técnica; projeto e metodologia de projeto; processo criativo e criatividade; e, por fim, experimentação.

Atualmente, a experimentação aparece como uma prática cada vez mais difundida – ou pelo menos divulgada – entre os designers como parte relevante do processo criativo do design. O objetivo da pesquisa foi compreender esse processo a partir do fazer dos designers. Destaca-se aqui a parte prática dessa pesquisa, feita através de um trabalho de campo em estúdios de design onde foram realizadas entrevistas, além da vivência das atividades desenvolvidas. O caminho metodológico seguiu os passos do Método de Explicação do Discurso Subjacente (MEDS) que trabalha com material discursivo, destacando a utilização da língua em contexto (NICOLACI-DA-COSTA, 2007). Esse método prevê que os dados obtidos sejam classificados a partir de categorias, destacando aquelas que emergem do discurso dos entrevistados – categorias êmicas. Os dados obtidos foram analisados e categorizados a partir de eixos temáticos que contêm as categorias propostas e, em seguida, foram discutidos. No sentido

metodológico, a discussão é compreendida como um exame verbal de um assunto por meio de análise de seus fatores positivos e negativos, porém, em outra acepção, também pode ser entendida como uma troca de ideias, um debate. Buscou-se assim construir esse debate, uma conversa entre prática e teoria, entre teóricos e praticantes do design. Os resultados dessa fase são a base para um segundo momento prático onde esses dados são apresentados visualmente utilizando as ferramentas de mapa mental e mood board.

A intenção da forma de organização utilizada foi identificar as convergências e divergências entre os discursos, mas não para analisá-los ou para criar uma polarização entre eles, e sim para suscitar a reflexão. Outras formas de organização poderiam ser propostas e conteúdo poderia ter sido explorado de outras tantas maneiras, entendendo que o material reunido a partir do trabalho de campo constitui-se em uma inestimável fonte de alimento para pesquisa.

REFERÊNCIAS

NICOLACI-DA-COSTA, A. M. O campo de pesquisa qualitativa e o Método de Explicação do Discurso Subjacente (MEDS). *Psicologia: Reflexão & Crítica*, Porto Alegre, v. 20, n. 1, pp. 65-73, 2007.

