



# Mix Sustentável

ISSN 2447-0899  
ISSNe 2447-3073



**UFSC**

V5. N1 | 2019  
MARÇO - JUNHO  
VIRTUHAB | CTC | CCE



## EDITORES

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

## CONSELHO EDITORIAL

Aguinaldo dos Santos, PhD. (UFPR)  
Amilton José Vieira de Arruda, PhD. (UFPE)  
Carlo Franzato, Dr. (UNISINOS)  
Cristine do Nascimento Mutti, PhD. (UFSC)  
Giovanni Maria Arrigone, PhD. (SENAI)  
Lisiane Ilha Librelotto, Dra. (UFSC)  
Marcelo Gitirana Gomes Ferreira, Dr. (UDESC)  
Paulo Cesar Machado Ferroli, Dr. (UFSC)  
Rachel Faverzani Magnago, Dra. (UNISUL)  
Tomás Queiroz Ferreira Barata, Dr. (UNESP)  
Vicente de Paulo Cerqueira, Dr. (UFRJ)

## EQUIPE EDITORIAL

Andrea Salomé Jaramillo Benavides, MSc. (UFSC)  
Luana Toralles Carbonari, MSc. (UFSC)

## DESIGN

João Luiz Martins (UFSC)  
Natalia Geraldo (UFSC)

## PERIODICIDADE

Semestral publication/Publicação semestral

## 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

Adriano Heemann, Dr. (UFPR)  
Aguinaldo dos Santos, PhD. (UFPR)  
Albertina Pereira Medeiros, Dra. (UDESC)  
Amilton José Vieira de Arruda, PhD. (UFPE)  
Almir Barros da Silva Santos Neto, Dr. (UFSC)  
Alexandre de Avila Leripio, Dr. (UNIVALI)  
Alice Theresinha Cybis Pereira, Dra. (UFSC)  
Ana Veronica Pazmino, Dra. (UFSC)  
Arnoldo Debatin Neto, Dr. (UFSC)  
Carla Arcoverde de Aguiar Neves, Dra. (UFSC)  
Carla Martins Cipolla, PhD. (UFRJ)  
Carlo Franzato, Dr. (UNISINOS)  
Carlos Humberto Martins, Dr. (UEM)  
Celso Salamon, Dr. (UTFPR)  
Cristine do Nascimento Mutti, PhD. (UFSC)  
Eduardo Rizzatti, Dr. (UFSC)  
Elvis Carissimi, Dr. (UFSC)  
Fabiano Ostapiv, Dr. (UTFPR)  
Fábio Gonçalves Teixeira, Dr. (UFRGS)  
Flávio Anthero Nunes Vianna dos Santos, Dr. (UDESC)  
Fernanda Hansch Beuren, Dra. (UDESC)  
Fernando Antônio Forcellini, Dr. (UFSC)  
Giovanni Maria Arrigone, PhD. (SENAI)  
Graeme Larsen, PhD. (University of Reading, England)  
Gregório Jean Varvakis Rados, PhD. (UFSC)  
Ignacio Guillén Guillamón, PhD. (CTF - UPV)  
Issao Minami, Dr. (USP - FAU)  
João Cândido Fernandes, Dr. (UNESP)  
Joel Dias da Silva, Dr. (FURB)  
Lisiane Ilha Librelotto, Dra. (UFSC)  
Luciana de Figueiredo Lopes Lucena, Dra. (UFRN)  
Luiz Fernando Mahlmann Heineck, PhD. (UECE)  
Marcelo de Mattos Bezerra, Dr. (PUC-Rio)  
Marcelo Gitirana Gomes Ferreira, Dr. (UDESC)  
Marco Antonio Rossi, Dr. (UNESP)  
Marcos Paulo Cereto, Mestre (UFAM)  
Michele Carvalho, Dra. (UNB)  
Normando Perazzo Barbosa, Dr. (UFPB)  
Paula Schlemper de Oliveira, Dra. (IFB)  
Paulo Cesar Machado Ferroli, Dr. (UFSC)  
Regiane Trevisan Pupo, Dra. (UFSC)  
Ronaldo Martins Glufke, MSc. (UFSC)  
Sérgio Ivan dos Santos, Dr. (UNIPAMPA)  
Sérgio Manuel Oliveira Tavares, Dr. (UP-PT)  
Silvio Burrattino Melhado, Dr. (USP)  
Sydney Fernandes de Freitas, Dr. (UERJ)  
Tomás Queiroz Ferreira Barata, Dr. (UNESP)  
Vicente de Paulo Cerqueira, Dr. (UFRJ)



# 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.

O periódico está dividido em seções, quais sejam:

- Seção científica – contendo pelo menos 12 artigos científicos para socializar a produção acadêmica, buscando a valorização da pesquisa, do ensino e da extensão.
- Seção graduação, iniciação científica e pós-graduação: 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.
- Seção mercadológica: espaço para Resenhas e Entrevistas (Espaços de Diálogo). Apresenta entrevistas com profissionais atuantes no mercado, mostrando projetos práticos que tenham aplicações na esfera da sustentabilidade. Deverá ainda disponibilizar conversas com especialistas em sustentabilidade e/ou outros campos do saber.

## CLASSIFICAÇÃO QUALIS

Na classificação QUALIS/Capes 2015, a revista Mix Sustentável foi avaliada com:

- B5 nas áreas: Arquitetura e Urbanismo; Engenharias I, Engenharias III e Ciências Ambientais.
- B4 na área: Administração Pública e de Empresas, Ciências Contábeis e Turismo.

## 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 e no google acadêmico.

### **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 48 revisores, oriundos de 21 instituições de ensino Brasileiras e 3 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 Semestral com edições especiais. São publicadas duas edições regulares nos períodos de Outubro a Março e posteriormente de Abril a Setembro. 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; usa uma fonte de 12 pontos; emprega itálico em vez de sublinhado (exceto em endereços URL); as figuras e tabelas estão inseridas no texto, não no final do documento na forma de anexos.

Envie 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 onze pesquisadores, três deles vinculados à UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina e os demais pertencentes a outras oito Instituições à saber: UFPR, UFPE, UNISINOS, SENAI, UDESC, UNISUL, UNESP e UFRJ. Desta forma, oitenta e dois por cento (82%) dos membros pertencem a instituições diferentes que não a editora.

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.

O corpo de revisores do periódico é composto por quarenta e oito professores doutores cujos saberes estão distribuídos pelas áreas de abrangência do periódico. Destes, oito são professores pesquisadores da UFSC (17%) e o restante, oitenta e três por cento (83 %) pertencem ao quadro de outras 24 instituições Brasileiras e 3 instituições estrangeiras.

## **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.





# Mix Sustentável



FLORIANÓPOLIS  
VIRTUHAB | CCE | CTC

ISSN 2447-0899  
ISSNe 2447-3073





---

**COPYRIGHT INFORMATION/INFORMAÇÕES DE DIREITO AUTORAL**

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

# SUMÁRIO

---

## ARTIGOS

- 19** **APLICAÇÃO ESTRUTURAL DO BAMBU – TESOURAS DE DUAS ÁGUAS: ANÁLISE TEÓRICA-EXPERIMENTAL |**  
*BAMBOO STRUCTURAL APPLICATION – DOUBLE PITCHED TRUSS: THEORETICAL-EXPERIMENTAL ANALYSIS* | Gilberto Carbonari, Gustavo Proni, Vitória Maria Gonçalves
- 35** **ECODESIGN VIA BIOCOMPÓSITOS POLIMÉRICOS: ENVELHECIMENTO, ANÁLISE ESTRUTURAL E RECICLAGEM |**  
*ECODESIGN BY POLYMERIC BIOCOMPOSITES: AGING, STRUCTURAL ANALYSIS AND RECYCLING* | Cristiano Alves, Kilder Ribeiro, Luiz Henrique
- 43** **PRODUÇÃO E USO DE DEQUES MODULARES DE BAMBU E MADEIRA |**  
*PRODUCTION AND USE OF BAMBOO AND WOOD MODULAR DECKS* | Fabiano Ostapiv, Celso Salamon
- 53** **INVESTIGAÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE LEVEZA E RESISTÊNCIA DAS FIBRAS DE AGAVE PARA MATERIAL DE**  
**IMPRESSÃO 3D BIOINSPIRADO |**  
*RESEARCH OF LIGHT STRATEGIES AND RESISTANT OF AGAVE FIBERS FOR BIO-INSPIRED 3D PRINT MATERIAL* | Rodrigo Barbosa de Araújo, Amilton José Vieira de Arruda, Emília Cristina Pereira Arruda
- 67** **ESTUDO E ANÁLISE DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DE CORPOS CILÍNDRICOS DE CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO**  
**PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO POR LASCAS DE BORRACHA |**  
*STUDY AND ANALYSIS OF RESISTANCE TO COMPRESSION IN CYLINDRICAL CONCRETE SAMPLES WITH PARTIAL REPLACEMENT OF MEDIUM SAND BY RUBBER CHIPS* | Alejandro Salazar Guerra, Caio Eduardo Savino, Elorah Regina Diniz Rocha
- 75** **ANÁLISE TÉCNICA DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS: ASPECTO FÍSICO, HIDRÁULICO E MANIFESTAÇÕES**  
**PATOLÓGICAS |**  
*TECHNICAL ANALYSIS OF PERMEABLE PAVEMENTS: PHYSICAL, HYDRAULIC ASPECT AND PATHOLOGICAL MANIFESTATIONS* | João Marcos Bosi Mendonça de Moura, Núbia Peixer, Paloma Pfiffer Muniz
- 85** **PÓ DO ENDOCARPO DO COCO: INPUT NO PROCESSO DE DESIGN PARA EXPERIÊNCIAS COM MATERIAIS |**  
*COCONUT ENDOCARP POWDER: INPUT INTO THE DESIGN PROCESS FOR MATERIAL* | Marcelo Vicente, Amilton Arruda, Matheus Martins, Thamyres Clementino
- 97** **CRITÉRIOS LOCACIONAIS COMO PRINCÍPIO PARA O CONCEITO DE DISTRITOS INDUSTRIAIS SUSTENTÁVEIS |**  
*LOCAL CRITERIA AS A PRINCIPLE FOR THE CONCEPT OF SUSTAINABLE INDUSTRIAL DISTRICTS* | Leandro Bittencourt Ávila, André Souza Silva
- 105** **REUTILIZAÇÃO DE REJEITO DE DESSALINIZADORES NA PARAIBA |**  
*REINFORCING REJECT OF DESSALINIZERS IN PARAIBA* | Vanessa Rosales Bezerra, Carlos Antônio Pereira de Lima, Valneli da Silva Melo, Maria Virginia da Conceição Albuquerque, Luis Reyes Rosales Montero
- 117** **ACESSIBILIDADE COMO REQUISITO DE SUSTENTABILIDADE EM OBRA DE BIBLIOTECA EM UNIVERSIDADE |**  
*ACCESSIBILITY AS A REQUIREMENT FOR SUSTAINABILITY IN A LIBRARY WORK AT UNIVERSITY* | Emmanuelle Maria Gonçalves Lorena, Cynthia Maria Gonçalves Lorena, Tarcísio Santos Albertin, Ana Paula Xavier de Gondra Bezerra, Felipe Bezerra de Lima, Romildo Morant de Holanda, Josiclêda Domiciano Galvêncio
- 125** **SOLUÇÕES DE MORADIA RESISTENTE ÀS INUNDAÇÕES PARA A ILHA MAUÁ |**  
*FLOOD-PROOF HOUSE SOLUTION TO ILHA MAUÁ* | Tamara Olivo Goularte, Vera Lucia Dutra Mascarello

## ENTREVISTAS

**133** ENTREVISTA COM:  
ANTONIO LUDOVICO BERALDO

## TESES

**137** DESIGN FOR BIOMIMICRY (DFB) – MODELO DE PROJETO ORIENTADO À BIOMIMÉTICA PARA SUPORTE AO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS SUSTENTÁVEIS | Roberta Ferrari de Sá, Osiris Canciglieri Junior

**139** *OPEN DESIGN* NA PROMOÇÃO DE ECONOMIAS DISTRIBUÍDAS: HEURÍSTICAS PARA O DESENVOLVIMENTO DE VESTUÁRIO | Iana Uliana Perez, Aguinaldo dos Santos

**141** PROCESSO [MAIS]: MÚLTIPLAS APRENDIZAGENS PARA A INOVAÇÃO DE SIGNIFICADO | Debora Baraun, Dalton Luiz Razerza

## DISSERTAÇÕES

**143** O CAMINHO DO VENTO: A PERCEPÇÃO DA VENTILAÇÃO NATURAL EM AMBIENTES DE INTERNAÇÃO | Kátia Maria Macedo Sabino Fugazza, Mauro César de Oliveira Santos

**145** ISOLANTE TÉRMICO À BASE DE SABUGO DE MILHO | Fábio Severo da Rosa, Giane Grigoletti, Rogério de Lima

**147** APLICAÇÃO DE CONCEITOS DE SUSTENTABILIDADE NO DESENVOLVIMENTO DE PROJETO DE COMPONENTES ESTRUTURAIS PRÉ-FABRICADOS COM EMPREGO DE MATERIAIS DE BASE FLORESTAL | João Marcelo Danza Gandini, Javier Mazariegos Pablos

## TCC's

**149** PARQUE CULTURAL TXILIÁ: ANTEPROJETO PARA A CIDADE DE PALMEIRA DOS ÍNDIOS, ALAGOAS | Bruna Siqueira, Sammea Ribeiro

**151** ESTUDO DA VIABILIDADE DO APROVEITAMENTO DAS ÁGUAS PLUVIAIS EM EDIFICAÇÃO UNIVERSITÁRIA | Tamiles Just Mandelli, Flávia Cauduro

**153** A IMPORTÂNCIA DA EFICIÊNCIA NO USO DA ÁGUA PARA A VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE EDIFÍCIOS COMERCIAIS NET ZERO ÁGUA | Luitanara Mamede Dias, Guido Petinelli, João Vitor Gallo



# EDITORIAL

---

Esta é a décima segunda edição da MIX Sustentável. Para quem gosta de números, chegamos a 7 edições regulares e 5 especiais, totalizando a publicação de 154 artigos, 26 entrevistas e 73 resumos de teses, dissertações, monografias de especialização e trabalhos de conclusão de curso. Lançamos a presente edição no momento de comemoração, ao ver o crescente interesse pela questão que envolve a sustentabilidade em projeto nas áreas da arquitetura, design e engenharia. Recebemos quase 300 artigos para a edição do ENSUS 2019, um crescimento de 30% com relação ao evento anterior. Assim como nas edições anteriores do evento, Florianópolis é o ponto de encontro de pesquisadores brasileiros e internacionais que tem o viés da sustentabilidade em suas pesquisas. Da mesma forma, percebemos um incremento na quantidade e qualidade dos artigos enviados à Mix Sustentável, apesar do Qualis do periódico ainda não ter sido objeto de reavaliação pela CAPES, tendo passado apenas por uma avaliação no momento da publicação de seu primeiro número em 2015, no evento avaliativo 2013-2016. Os números são promissores e a equipe editorial tem a certeza de estar no caminho certo, o que refletirá na próxima avaliação da CAPES.

De sua primeira edição até o momento, o periódico Mix Sustentável passou por reformulações para ser indexado em bases, diretórios e buscadores, assim como mudanças foram também realizadas na plataforma OJS. Estamos presentes hoje em Biblat, PKP Index, BASE, LivRE, Sumários.org, REDIB, Google Acadêmico, Latindex, Portal de Periódicos da Capes, no DOAJ, Latinrev (Rede Latinoamericana de Revistas Acadêmica em Ciências Sociais e Humanidades), na Crossref search, na ERIHPLUS (European Reference Index for the Humanities and Social Sciences), no Infohab e na base Periódica. Nossas políticas editoriais estão cadastradas no DIADORIM e na Base OASIS do IBICT, além de termos nosso fator de impacto calculado pela cite factor. Além do registro nas plataformas, seguimos buscando por critérios cada vez rigorosos de qualidade, adequando nosso formato para indexação nas bases Scielo e Redalib, para as quais foi necessária uma alteração em nossa periodicidade, que passou de 4 edições ao ano, duas regulares e duas especiais (semestral) para 3 edições ao ano (quadrimestral).

Contudo, nem só de conquistas e alegrias se faz a vida. Não podemos deixar de lamentar aqui o falecimento de nosso caro amigo Carlos Eduardo Mauro, conhecido mais como o Cadu, professor do curso de Design de UNIVALI (SC) que esteve presente em nossas vidas acadêmicas desde o seu primeiro momento. O design brasileiro sentirá falta desta alma gentil, que foi sempre companheira fiel e presente. Ajudou e participou do primeiro ENSUS em 2007, assim como auxiliou na publicação do primeiro ensaio, versão desta revista, a antiga MIG. O ENSUS 2019 será o primeiro que não contará com a presença de nosso colega. Fica aqui, registrado, nosso agradecimento ao Cadu, por tudo o que ele representou como pessoa, designer, professor e colega.

O momento político reflete na pesquisa o desânimo usual que nos acompanha ao longo dos anos. As notícias que nos chegam não são, de modo algum, novidade, pois somente se fala em cortes, reduções e falta de verbas. A transparência parece ser a palavra do momento. Políticos e pessoas que ocupam cargos a usam em abundância. Aguardamos o reflexo desta palavra na CAPES e CNPq, especialmente na atribuição de qualis, de conceitos para programas de pós-graduação e de avaliações de propostas enviadas a editais. Se quando os recursos são abundantes, a ética e a transparência são necessárias, quando os recursos minguam, estas se tornam imprescindíveis, obrigatórias. Sobretudo, as avaliações não podem estar sujeitas à disabores ou tendências de avaliação. Um avaliador da CAPES não pode dizer que um evento Nacional é Regional, tendo os anais do evento disponíveis para consulta e verificação na internet, comprovando o recebimento de artigos de mais de 75 intuições brasileiras e oriundos de todo o território nacional. Da mesma forma, esperar-se-ia que ao menos no momento do recurso, uma avaliação mais criteriosa fosse realizada para respaldar ou não a decisão do avaliador, com transparência, com seriedade e isenta de vícios. Fatos como este são inaceitáveis, a considerar também o histórico de apoio da CAPES ao evento, no mesmo edital, embora submetido a outra área de avaliação, onde possivelmente não passou/enfrentou os mesmos ventos. Dada a comprovação de pleno atendimento de todos os requisitos necessários, uma negativa só poderia ser justificada pela falta de recursos, motivo único pelo qual não sobram argumentos. A ciência brasileira não pode ficar refém de questões que envolvem arbitrariedade, revanchismo ou jogos de interesse que relegam a ciência aos bastidores de reconhecimento de méritos ou de desculpas esfarrapadas para negativas de apoio às migalhas que são solicitadas.

A presente edição, primeira do ano de 2019, consolida o novo formato da publicação, com a inclusão do ORCID dos autores e demais exigências técnicas com a finalidade de indexação em plataformas internacionais. O tempo de recebimento e aceite do periódico, considerando eventuais correções solicitadas pelos revisores mantém a MIX Sustentável como uma das mais ágeis no processamento no país, graças a dedicação de nosso corpo de editores e revisores.

A edição conta com 11 artigos, em diversos temas de grande relevância para a pesquisa nacional e para a solução de problemas que entravam o desenvolvimento sustentável no país.

- Da Universidade Estadual de Londrina, o artigo “Aplicação Estrutural do Bambu – Tesouras de Duas Águas: Análise Teórica-Experimental”, apresenta um método para execução de tesouras mais eficientes estruturalmente, verificando a sua viabilidade prática em coberturas de edificações.

- Continuando na área de materiais, da união de pesquisadores da Universidade Federal de Santa Catarina com a Universidade Federal do Rio Grande do Norte, o artigo “Ecodesign via Biocompósitos Poliméricos: Envelhecimento, Análise Estrutural e Reciclagem” avaliou materiais bi compósitos de matriz polimérica, obtidos a base de resina poliéster com Neopentil Glicol (NPG), denominada de resina náutica.

- O bambu, um dos materiais mais estudados nos últimos anos e tema recorrente na revista Mix Sustentável, foi também o tema abordado pelo artigo dos pesquisadores da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, intitulado “Produção e Uso de Deques Modulares de Bambu e Madeira” e mostra a produção manual de ripas de bambu a partir de colmos de *Dendrocalamus asper*, usando ferramentas e procedimentos usuais.

- Da Universidade Federal de Pernambuco, o artigo “Investigação de Estratégias de Leveza e Resistência das Fibras de Agave para Material de Impressão 3d Bioinspirado” aborda a perspectiva do uso das fibras de sisal com elemento para impressoras 3D.

- O artigo 5 é assinado por um pesquisador do Centro Universitário Curitiba, com o título “Estudo e Análise da Resistência a Compressão de Corpos Cilíndricos de Concreto com Substituição Parcial do Agregado Miúdo por Lascas de Borracha” e aborda a expectativa da utilização, por parte da construção civil, de materiais alternativos tornando o concreto menos prejudicial ao meio ambiente.

- Da Universidade Regional de Blumenau, um grupo de pesquisadores apresenta o artigo “Análise Técnica de Pavimentos Permeáveis: Aspecto Físico, Hidráulico e Manifestações Patológicas”, que do mesmo modo que o anterior, aponta questões envolvendo novas propostas de materiais para a indústria da construção civil.

- Também da Universidade Federal de Pernambuco, o artigo “Pó do Endocarpo do Coco: Input no Processo de Design para Experiências com Materiais” apresenta o Material Driven Design, método que associa os materiais de acordo com o seu processo de transformação.

- Da área da arquitetura, os pesquisadores da Universidade do Vale do Rio dos Sinos assinam o artigo “Critérios Locacionais como Princípio para o Conceito de Distritos Industriais Sustentáveis” que tem por principal objetivo contribuir na escolha de locais adequados para implantar distritos industriais sustentáveis por meio da acessibilidade e da mobilidade do espaço urbano.

- Pesquisadores de duas diferentes instituições de ensino: Universidade Estadual da Paraíba e Universidade Federal de Campo Grande mostram no artigo “Reutilização de Rejeito de Dessalinizadores na Paraíba” uma temática de extrema importância, a escassez de água no sertão brasileiro e no artigo apresentam diversas formas de tratamento dos rejeitos da dessalinização da água visando a escolha de uma técnica viável para a aplicação na região.

- O artigo 10 é assinado por pesquisadores da Universidade Federal Rural de Pernambuco, com o título “Acessibilidade como Requisito de Sustentabilidade em Obra de Biblioteca em Universidade” e teve por objetivo avaliar o atendimento aos requisitos de sustentabilidade de uma edificação pública de instituição de ensino superior.

- Finalizando a sessão de artigos científicos, também proveniente da Universidade do Vale do Rio dos Sinos, o artigo “Soluções de Moradia Resistente às Inundações para a Ilha Mauá” apresenta o projeto de moradia resistente às inundações para áreas vulneráveis, buscando mostrar uma solução viável para situações semelhantes.

A edição ainda traz a entrevista do prof. Antonio Ludovico Beraldo, e nove resumos de teses, dissertações e monografias defendidos recentemente.

Desejamos a todos uma ótima leitura,

---

**LISIANE ILHA LIBRELOTTO E PAULO CESAR MACHADO FERROLI**  
EDITORES DA MIX SUSTENTÁVEL





# APLICAÇÃO ESTRUTURAL DO BAMBU – TESOURAS DE DUAS ÁGUAS: ANÁLISE TEÓRICA-EXPERIMENTAL

*BAMBOO STRUCTURAL APPLICATION – DOUBLE PITCHED TRUSS: THEORETICAL-EXPERIMENTAL ANALYSIS*

**GILBERTO CARBONARI, Dr.** | UEL

**GUSTAVO PRONI** | UEL

**VITÓRIA MARIA GONÇALVES** | UEL

## RESUMO

O bambu é uma excelente alternativa sustentável, de elevada resistência, com baixo peso específico e renovável. Graças a um tratamento natural eficiente descoberto recentemente, utilizando Tanino, a durabilidade conferida permite a sua utilização em várias aplicações na construção civil. O objetivo do trabalho foi obter um método para execução de tesouras mais eficientes estruturalmente e verificar a sua viabilidade prática em coberturas de edificações. Para isto, foram executadas 6 tesouras de bambu, da espécie *Dendrocalamus giganteus*, reforçadas com graute e abraçadeiras metálicas. As tesouras foram posicionadas em um pórtico em que uma carga concentrada foi aplicada no ponto superior da tesoura até a ruptura, gerando dados de deslocamentos e cargas últimas. Desta forma, analisou-se o comportamento de cada tesoura quando submetida à esforços. Os resultados comprovaram que os reforços, além da utilização de barras roscadas nas uniões das barras das tesouras, agregam um significativo acréscimo de resistência mecânica para a referida estrutura. Além disso, os valores obtidos das cargas e deslocamentos nos ensaios realizados permitiram concluir que as tesouras podem ser usadas com segurança em coberturas de edificações, pois atendem aos critérios do Estado Limite de Serviço (E.L.S.) e do Estado Limite Último (E.L.U.).

**PALAVRAS CHAVE:** Tesouras de bambu; Eficiência estrutural; Aplicação estrutural; Análise teórica e experimental.

## ABSTRACT

*Bamboo is an excellent sustainable alternative with high resistance, low specific weight and renewable. By reason of an efficient natural treatment utilizing Tannin discovered recently, the durability conferred allows its use in several applications at civil construction. The aim of this work was to obtain a method more structurally efficient to the execution of howe trusses and to verify their practical viability at buildings' roofs. For this, six howe trusses of *Dendrocalamus giganteus* species reinforced with grout and metal clamps were executed. The howe trusses were placed in a gantry, where a concentrated load was applied at the howe truss' upper point until the rupture, generating data of displacements and ultimate loads. In this way, the behavior of each howe truss when submitted to the efforts was analyzed. The results showed that the reinforcements, besides the use of threaded bars in the joints between elements of the howe trusses, contribute with a significant increase of mechanical resistance to the structure. Furthermore, the results of the loads and displacements obtained in the tests allow to conclude that howe trusses can be safely used at the buildings' roofs, because meets with the criteria of the Ultimate Limit State and Service Limit State.*

**KEY WORDS:** Howe trusses; Structural efficiency; Structural application; Theoretical and experimental analysis.



## 1. INTRODUÇÃO

A construção civil representa aproximadamente 8% do PIB brasileiro, e gera cerca de 13 milhões de empregos formais, informais e indiretos, tendo notável relevância na economia do país. Porém, é um dos setores que mais poluem o meio ambiente, sendo responsável por cerca de 40% a 75% da matéria-prima extraída no planeta, além de ser a atividade produtiva que mais gera resíduos.

O desenvolvimento sustentável é um desafio muito grande, que deve se integrar com o desenvolvimento econômico e social. Dessa forma, é extremamente necessário que alternativas sustentáveis para a construção se sobressaíam, e é nesse contexto que o bambu se torna interessante para a construção civil.

O bambu também tem grande potencial em habitações de interesse social. O Brasil tem um déficit de 6,2 milhões de moradias, e a maior parte deste déficit é de habitações de baixo padrão, o que abre espaço para a utilização do bambu.

O uso do bambu garante tesouras leves e resistentes. “O bambu é um material com grande resistência. A razão entre o peso do bambu e a força que ele suporta é superior à do aço.” (CARBONARI et al 2017; VASCONCELLOS, 2004).

Nos últimos 9 anos, o grupo de pesquisa Bambu-UJEL cadastrado no CNPq, vem realizando pesquisas com bambu (BARBOSA, 2017; CARBONARI, 2013; CARBONARI et al., 2016; CARBONARI et al., 2017; GONÇALVES, 2018, PRONI, 2018), tanto na obtenção das propriedades mecânicas e estruturais, como também da sua durabilidade frente ao ataque de insetos, graças ao tratamento com tanino, através do Método de Boucherie modificado, conforme solicitação de patente depositada no IMPI (CARBONARI, 2013).

O tratamento com tanino teve sua eficiência comprovada recentemente e como uma das principais preocupações com o uso do bambu está relacionada com a sua durabilidade, especialmente relacionada com o ataque de insetos xilófagos (fungos e carunchos), este tratamento se torna extremamente importante.

Neste trabalho, apenas a espécie *Dendrocalamus giganteus* foi analisada, devido a suas grandes dimensões de diâmetro externo e espessura, que conferem maior resistência mecânica se comparadas a outras espécies.

O trabalho tem como objetivo determinar o método para a execução das tesouras com maior eficiência estrutural possível, comparando duas técnicas de reforço nos apoios das tesouras: as seis tesouras em bambu executadas possuem seus apoios preenchidos com graute, sendo três confinados por fitas metálicas furadas, e outras três com abraçadeiras de aço.

Além disso, tem o objetivo de avaliar se tesouras de bambu são viáveis estruturalmente para execução em coberturas de edificações, comparando com os resultados experimentais obtidos nos ensaios.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Aspectos botânicos e anatomia

O bambu é pertencente a subfamília *Bambusoideae* da família *Poaceae*, também conhecida como a família das gramíneas, que é dividida em dois grandes grupos: os herbáceos (*Olyrae*) e os lenhosos (*Bambuseae*). O habitat natural das espécies de bambu é, principalmente, em zonas tropicais e temperadas.

As duas partes constituintes mais importantes do bambu são o rizoma e o colmo, sendo que o rizoma tem a função de propagação da planta, que é feita por ramificações e de forma assexuada. Além disso, o rizoma tem função de armazenagem de nutrientes. O colmo é a parte útil do bambu, propriamente dita, utilizado na construção civil. Sua geometria é circular oca, sendo composta por nó, entrenó, cavidade e diafragma.

### 2.2. Tratamento do bambu

O bambu tem a necessidade de tratamento pois é um material natural e possui o amido, o que ocasiona sua exposição ao ataque de insetos xilófagos (fungos e carunchos).

Existem alguns tipos de tratamento do bambu, como por exemplo: o tratamento químico, por imersão em água, através de fervura, entre outros.

Desde 2013, existe um tratamento natural, que utiliza tanino para aumentar a vida útil dos colmos de bambu. O tanino tem propriedades ácidas e adstringentes, que “neutralizam” o amido presente nas células parênquimas do bambu, acabando com o atrativo para os insetos xilófagos (CARBONARI, 2013).

### 2.3. Propriedades físicas e mecânicas

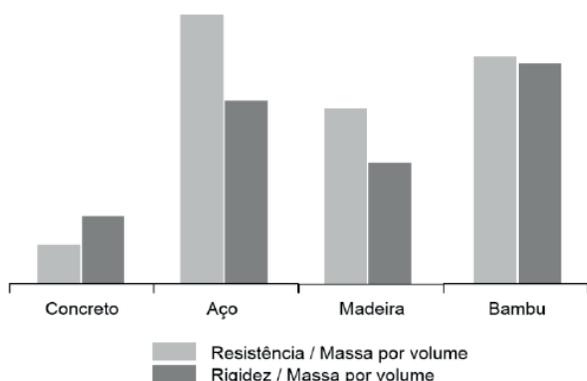
As propriedades físicas e mecânicas do bambu estão diretamente ligadas com sua estrutura anatômica.

As principais propriedades físicas do bambu são:

a) Idade do colmo: é um fator importante para se determinar a resistência do bambu. O ideal para o monitoramento da idade do bambu é etiquetá-lo logo quando brota do solo, porém se não for possível, pode-se estimar a idade através da observação de presença de fungos e coloração da superfície.

b) Densidade: varia de 700 kg/m<sup>3</sup> e 800 kg/m<sup>3</sup>. Janssen (2000) comparou os fatores resistência e rigidez em relação a densidade de materiais convencionais na

construção civil com o bambu, sendo que o bambu só “perderia” para o aço em relação a resistência, como pode ser visto na figura 1.



**Figura 1** – Comparação da resistência e rigidez em relação à densidade, do bambu com outros materiais. **Fonte:** JANSSEN (2000) apud SÁNCHEZ QUINTERO, p. 11.

c) Teor de umidade: varia com a idade, a estação do corte e espécie. Quanto mais novo o bambu, maior seu teor de umidade, sendo que até os três anos de idade, quando são considerados verdes, o teor é muito elevado, afetando a resistência do colmo. Após o corte, o bambu tende a perder umidade, aumentando o seu desempenho estrutural, sendo que a secagem do mesmo pode demorar de um a quatro meses dependendo das condições de armazenamento dos colmos.

Em relação às propriedades mecânicas, o conjunto de fatores do bambu, o torna resistente e flexível, sendo chamado de “aço vegetal”. O bambu é um material anisotrópico, ou seja, possui características mecânicas diferentes nas três direções: longitudinal, tangencial e radial.

Para a espécie *Dendrocalamus giganteus*, os valores médios, segundo Carbonari (2015), são:

- a) Compressão paralela as fibras: 48,27 MPa e 46,32 MPa para corpos de prova com e sem nó respectivamente.
- b) Tração paralela as fibras: 52 MPa (com nó) e 133 MPa (sem nó) no ensaio com fibras internas e 186 MPa (com nó) e 203 MPa (sem nó) no ensaio com fibras externas.
- c) Flexão: 58,5 MPa.
- d) Módulo de elasticidade longitudinal: 21,90 GPa para colmos com nó, e 21,80 GPa para colmos sem nó.

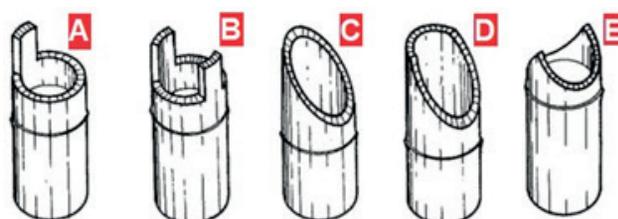
A propriedade mecânica mais frágil do bambu é o cisalhamento. Ghavami e Marinho (2001), obtiveram valores médios de 3,56 MPa e 3,37 MPa para corpos de prova com e sem nó, respectivamente.

### 2.4. Ligações das peças em bambu

As ligações entre as peças que formam uma estrutura são fundamentais para a sua integridade, necessitando de uma

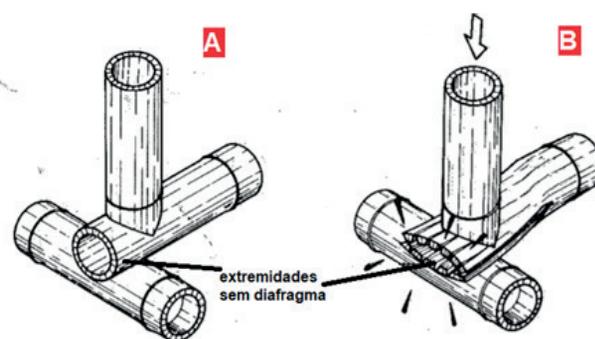
perfeita adequação dos materiais que nela serão utilizados. Por causa da forma do bambu não perfeitamente circular, cônica, oca, com diversas dimensões em seu comprimento, diâmetro e espessura de paredes, as ligações são uma das maiores dificuldades em construções com bambu. (PADOVAN, 2010, p. 102).

Em relação aos cortes no bambu para a realização de encaixes, tem-se as seguintes formas de esculpir as extremidades, apresentadas na figura 2.



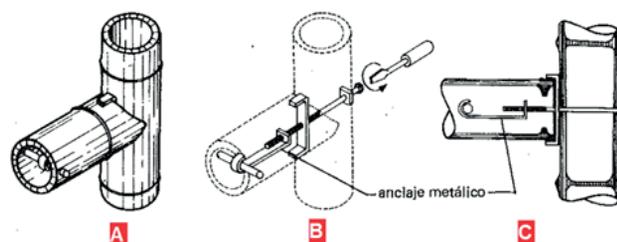
**Figura 2** – Extremidades das varas de bambu **Fonte:** LÓPEZ, 1981, p. 24.

Um dos cuidados que devem ser tomados na execução das ligações, segundo López (1981), é a extremidade de uma vara de bambu possuir um diafragma, caso contrário, estará suscetível a sofrer achatamento sob a ação de uma carga vertical, conforme figura 3.

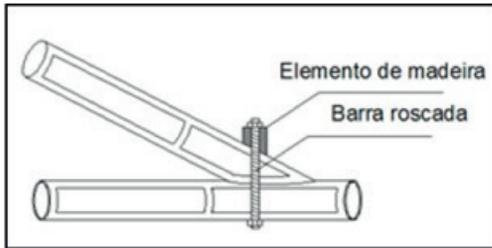


**Figura 3** – Esmagamento do colmo na extremidade **Fonte:** LÓPEZ, 1981, p. 22.

Em relação a união das peças de bambu, esta pode ser realizada de diversas formas, nas figuras 4 e 5 estão expostas duas destas formas.



**Figura 4** – União através de gancho metálico **Fonte:** LÓPEZ, 1981, p. 25.



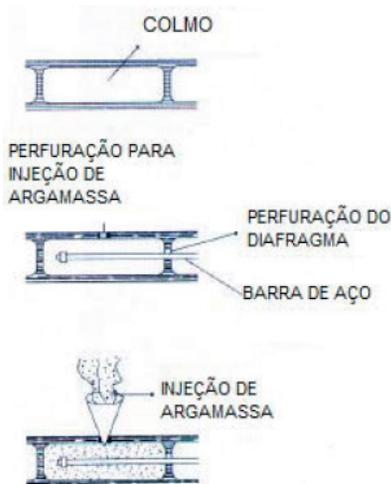
**Figura 5** – União entre peças horizontais e diagonais  
**Fonte:** BARBOSA, 2017, p. 24.

Acerca de reforços nas ligações de bambu, Barbosa (2017) propôs a concretagem dos apoios de uma treliça, sendo que o concreto foi inserido através da cavidade do bambu e estancado com fitas e sacos plásticos, como apresenta a figura 6.



**Figura 6** – Inserção de concreto no apoio  
**Fonte:** BARBOSA, 2017, p. 54.

Padovan (2010) também cita uma conexão reforçada com argamassa. A figura 7 apresenta a forma de injeção desta argamassa.



**Figura 7** – Forma de injeção de argamassa no colmo de bambu  
**Fonte:** RWTH Aachen (2009, apud PADOVAN, 2010, p. 142).

Outro tipo de reforço são as abraçadeiras metálicas, que são utilizadas para dar aperto ao bambu e evitar que fendas se abram no colmo ou para reforçar fendas abertas. Barbosa (2017) também utilizou abraçadeiras metálicas nos apoios de uma tesoura, como mostra a figura 8, já a figura 9, mostra abraçadeiras reforçando a estrutura de uma cobertura de bambu.



**Figura 8** – Reforço de ligação com abraçadeira metálica  
**Fonte:** BARBOSA, 2017, p. 60.



**Figura 9** – Abraçadeira metálica reforçando peça de bambu na chácara do sindicato dos professores (DF)  
**Fonte:** Autores.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste item se destacam os métodos para o cumprimento dos objetivos do trabalho, tendo uma abordagem sobre a montagem e configuração das tesouras, o ensaio experimental, e a verificação de uma aplicação prática da tesoura.

Para permitir conclusões estatisticamente representativas, foram ensaiadas seis tesouras em bambu, utilizando a técnica de ligação entre as peças por barras roscaadas

Os cortes das barras de bambu foram efetuados no bambuzal da Universidade Estadual de Londrina. O critério de escolha foi coletar barras com idade entre 3 e

6 anos, de modo a conferir maior resistência mecânica. Além disso, selecionaram-se as que não possuíam agentes patológicos.

O corte foi realizado com o uso de motosserras na parte inferior da barra, com posterior esforço de tração em um ponto cerca de 20 cm acima do corte. Isto foi realizado com um trator, que tracionava uma corda amarrada a ele. Posteriormente cortaram-se as barras no tamanho desejado, também com a motosserra, porém com uma folga de 20 cm de cada lado, devido aos futuros esculpimentos nas extremidades, necessários para realizar as ligações entre as peças. Além disso, cortou-se uma barra a mais de cada tamanho, para servir de reserva.

Na figura 10 são comparadas três das principais condições das barras de bambu, onde a letra A representa uma barra que está apropriada para uso estrutural, pois aparenta ter entre 3 e 6 anos de idade, sem apresentar agentes patológicos. A barra com a letra B corresponde a um bambu ainda muito jovem, com menos de 3 anos de idade, ainda em crescimento, portanto não poderá ser utilizado para fins estruturais. A barra com a letra C tem a aparência de ter uma idade bem superior a 6 anos, devido a quantidade de fungos na sua superfície.

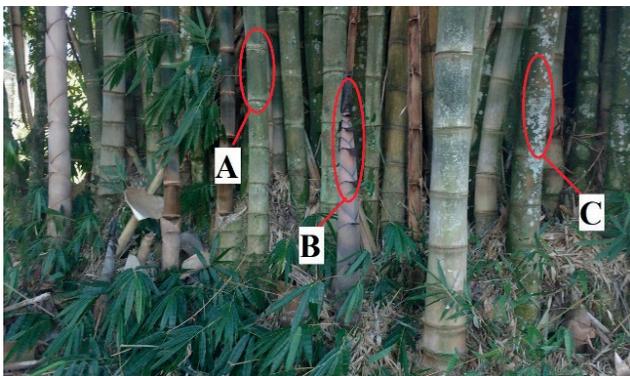


Figura 10 – Bambuzal onde foram cortadas as barras (UEL)  
Fonte: Autores.

Após o corte das barras de bambu, elas foram transportadas para o laboratório, onde ficaram dispostas horizontalmente, o mais longe possível umas das outras, seguindo as limitações de espaço do ambiente, com o intuito de acelerar o procedimento de perda da umidade.

Foi necessário esperar três meses para uma secagem apropriada (figura 11-A e figura 11-B). Nota-se, nas referidas figuras, a acentuada diminuição da coloração esverdeada, indicando que as barras da figura 11-B já estavam aptas para o início da execução das tesouras.



Figura 11 – Secagem das barras de bambu  
Fonte: Autores.

A partir das limitações do Laboratório de Estruturas da Universidade Estadual de Londrina, de trabalhos anteriores e dos conhecimentos acerca das propriedades mecânicas do bambu, decidiu-se executar as tesouras com as dimensões apresentadas na figura 12.

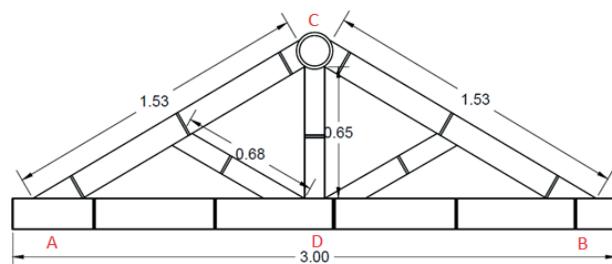
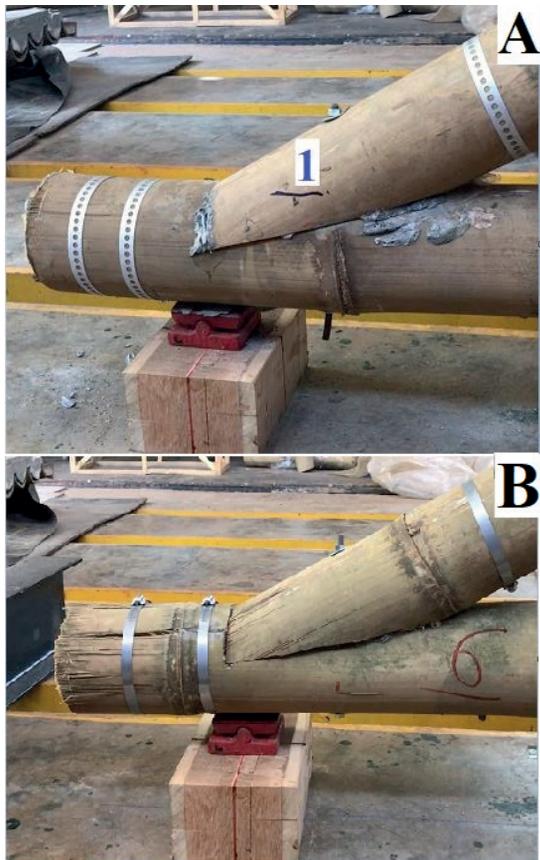


Figura 12 – Configuração das tesouras executadas  
Fonte: Autores.

Os apoios A e B foram reforçados com graute e com dois tipos de abraçadeiras metálicas: A “fita furada”, conforme a figura 13-A, nas tesouras 1, 2 e 3; e a “fita padrão”, ilustrado na figura 13-B, nas tesouras 4, 5 e 6. As ligações entre as barras das tesouras foram realizadas com barras roscadas, como apresentado na figura 14.



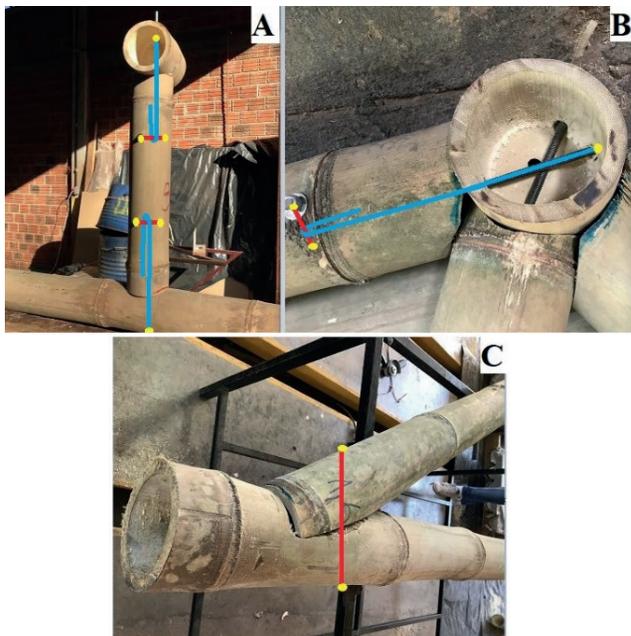
**Figura 13** – Configurações dos apoios das tesouras  
Fonte: Autores.

de 50 MPa. Estas duas características são essenciais, pois este material é capaz de preencher com facilidade os colmos do bambu, bem como contribuir consideravelmente na resistência mecânica dos apoios das tesouras.

Para preencher com graute a região dos apoios, as tesouras foram colocadas em posição invertida em uma estrutura provisória de madeira, conforme ilustrado na figura 15. A concretagem se deu por inserção de graute em furos de 4 cm de diâmetro na parte inferior da ligação dos apoios. Estes furos estão destacados e numerados de 1 a 12. A vedação, que se mostrou eficiente na maioria das vezes, se deu por uso de plástico bolha e da fita adesiva.



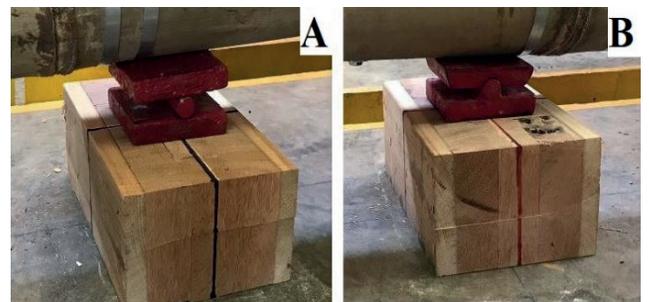
**Figura 15** – Concretagem dos apoios das tesouras  
Fonte: Autores.



**Figura 14** – Ligações efetuadas com barras rosçadas de aço  
Fonte: Autores.

O graute foi a opção escolhida como material de preenchimento dos apoios das tesouras, devido a sua elevada fluidez e elevada resistência característica à compressão

As tesouras foram vinculadas com um apoio de 1º gênero (figura 16-A), e outro de 2º gênero (figura 16-B), garantindo que a estrutura se comportasse estruturalmente como isostática. A vantagem desta configuração é que os deslocamentos horizontais da tesoura são absorvidos pelo apoio.



**Figura 16** – Apoios das tesouras  
Fonte: Autores.

Após a montagem e a aplicação do reforço nos apoios, as tesouras foram posicionadas no pórtico, onde foram aplicadas as cargas concentradas no nó superior da tesoura, conforme a foto da figura 17.



**Figura 17** – Tesoura posicionada no pórtico para realização do ensaio  
**Fonte:** Autores.

Os deslocamentos foram medidos através de transdutores de deslocamento LVDT (Linear Voltage Differential Transformer). O funcionamento do referido aparelho consiste em empurrar a haste em direção ao próprio aparelho, pois é com o posterior alívio de força que as medições são efetuadas.

Foram instalados três destes sensores em cada tesoura, sendo dois na parte inferior e um na parte superior, conforme fotos da figura 18.



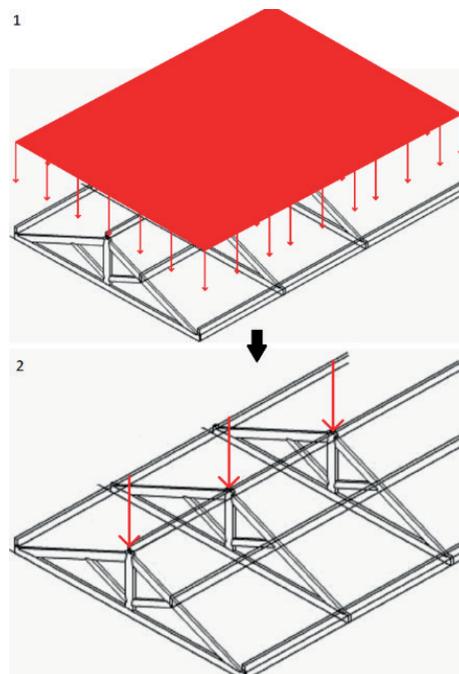
**Figura 18** – Disposição dos sensores de deslocamento nas tesouras  
**Fonte:** Autores.

Os valores da carga aplicada e dos deslocamentos dos 3 sensores, medidos desde o início do ensaio até a ruptura de cada tesoura, foram armazenados simultaneamente em arquivos.

Com o objetivo de verificar se as tesouras ensaiadas poderiam ser utilizadas em coberturas de edificações, foram determinados os carregamentos, ou seja, o peso próprio de seus elementos, a sobrecarga, e as ações do vento. Para tanto, foram estudados dois tipos de coberturas, para dois extremos usuais da distância entre tesouras, conforme se descreve a seguir.

- a) Telhas cerâmicas, ripas, caibros e terças de madeira e tesouras de bambu
  - I) Distância entre tesouras de 2,5 m
  - II) Distância entre tesouras de 5,0 m
- b) Telhas termoacústicas, terças de madeira e tesouras de bambu
  - I) Distância entre tesouras de 2,5 m
  - II) Distância entre tesouras de 5,0 m

Para permitir a comparação dos carregamentos atuantes em uma cobertura de aplicação prática com os carregamentos utilizados nos ensaios experimentais das seis tesouras de bambu, é necessário transformar o carregamento de superfície (combinação de ações de cargas permanentes e acidentais) em uma carga pontual aplicada no ponto superior central da tesoura. Um esquema ilustrativo desse procedimento pode ser visto na figura 19.



**Figura 19** – Carga superficial transformada em uma carga pontual (ref. ao ensaio)  
**Fonte:** Autores.

A partir da obtenção das cargas pontuais equivalentes, conforme descrito acima, referente aos dois tipos de cobertura citados, é analisada a segurança das tesouras ensaiadas de bambu quanto ao Estado Limite Último (E.L.U.) e quanto ao Estado Limite de Serviço (E.L.S.).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Realizados os ensaios experimentais, foram obtidos os dados de carga última de ruptura e de deslocamentos. A tabela 1 apresenta os resultados máximos para as 6 tesouras.

Tesoura	Carga última experimental (tf)	Deslocamento máximo (mm)
1	4,76	45,5
2	4,26	34,6
3	3,72	36,7
4	6,57	37,4
5	5,16	56,2
6	4,90	54,9

Tabela 1 – Dados experimentais das tesouras  
Fonte: Autores.

Nota-se dos resultados acima que a técnica mais eficiente de reforço nos apoios foi aquela onde foram utilizadas as braçadeiras do tipo “fita padrão”, pois as tesouras 4, 5 e 6, que utilizaram esta técnica, apresentaram melhores resultados que as outras três tesouras, que tiveram a utilização de “fitas furadas”. Isto se deve à maior resistência da “fita padrão” se comparadas com as “fitas furadas”.

Todas as seis tesouras romperam devido ao cisalhamento em um dos seus apoios, sendo que a ruptura ocorre nos apoios de menor área de cisalhamento de cada tesoura.

Na figura 20 se apresentam os diagramas carga x deslocamento, medidos nas tesouras 1, 2 e 3, respectivamente.



Figura 20 – Diagrama carga x deslocamento das tesouras 1, 2 e 3  
Fonte: Autores.

Percebe-se que o comportamento mecânico das tesouras é muito próximo ao da Lei de Hooke, até certo nível de carregamento, sendo que quando os mecanismos resistentes da tesoura começam a falhar, acontecem acomodações na tesoura e conseqüentes irregularidades nas curvas.

As tesouras 1 e 2 tiveram um comportamento normal na ruptura, ao contrário da tesoura 3, que teve um problema no ensaio, onde o pistão da máquina de aplicação de força atingiu seu limite de deslocamento antes que a tesoura atingisse a ruptura.

Percebe-se nos gráficos da figura 20 e da figura 21, que as curvas referentes ao medidor de deslocamento superior, apesar de ter um comportamento similar, tem uma discrepância em relação aos dois medidores de

deslocamentos inferiores. Esta discrepância se deve ao fato de que o colmo de aplicação de força no ponto superior da tesoura sofre com um esmagamento.

As tesouras 4, 5 e 6 foram executadas com a abraçadeira tipo “fita padrão”. Os respectivos diagramas carga x deslocamento das referidas tesouras estão mostrados na figura 21.

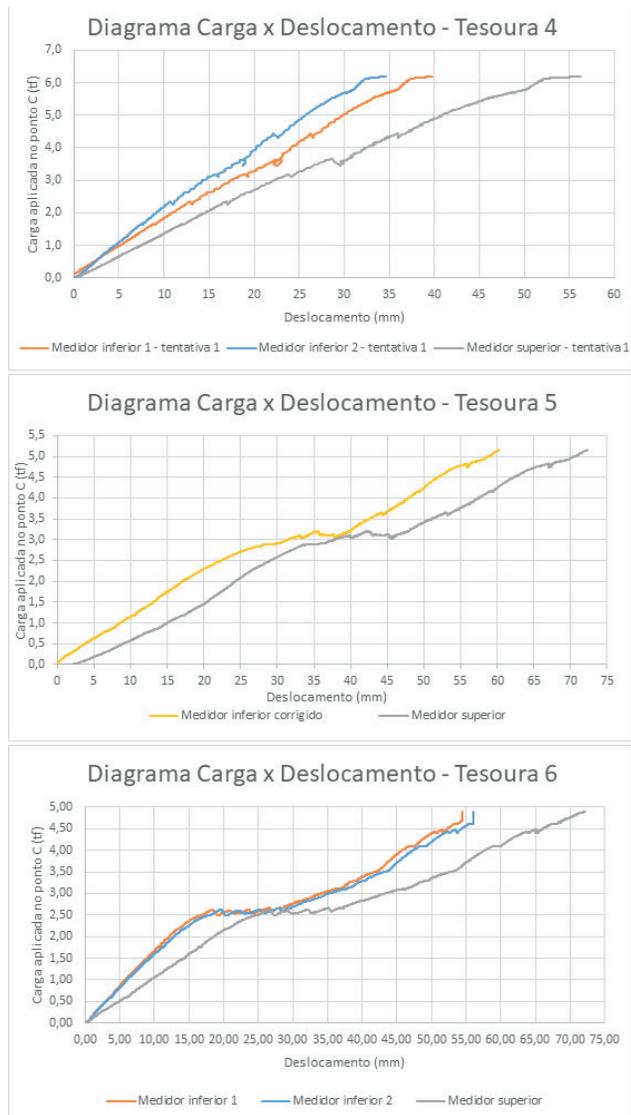


Figura 21 – Diagrama carga x deslocamento das tesouras 4, 5 e 6  
Fonte: Autores.

Diferentemente do comportamento observado nas outras tesouras, as curvas carga x deslocamento das tesouras 5 e 6 apresentaram um patamar. Esse fenômeno está associado ao fato de que o graute não preencheu todo o espaço interno do bambu na fase da execução das tesouras, ocorrendo um esmagamento do colmo do apoio da tesoura durante o ensaio experimental.

No item “4.1” abaixo são apresentadas as principais técnicas construtivas para se obter uma tesoura em

bambu de máxima eficiência estrutural, enquanto que no item “4.2” é verificado se as tesouras em bambu ensaiadas no laboratório podem ser utilizadas em coberturas usuais, propondo dois tipos de cobertura.

#### 4.1. Proposta de uma tesoura em bambu de máxima eficiência estrutural

Nas fotos das figuras 22-A, 22-B e 22-C estão ilustradas três situações distintas encontradas durante a realização dos ensaios: na figura 22-A o apoio que sofreu ruptura da tesoura 1, na iminência do colapso; na figura 22-B o apoio que sofreu ruptura da tesoura 6, na iminência do colapso; e na figura 22-C o apoio que sofreu ruptura da tesoura 4, na iminência colapso.



Figura 22 – Três situações distintas capturadas na iminência da ruptura  
Fonte: Autores.

Nota-se na figura 22-A (tesoura 1) que o banzo superior transfere a carga tanto para o bambu (cisalhamento) quanto para o graute (compressão diametral). O problema desta situação está no fato do bambu (banzo inferior) ser solicitado diretamente ao cisalhamento, diminuindo a resistência da tesoura como um todo. Além disso, com a

movimentação do banzo superior, a barra roscada deste apoio é solicitada à flexão. Estas referidas tensões induzem o graute a se romper precocemente. O preenchimento do graute deste apoio foi bem executado, pois não houve esmagamento entre os banzos nesta região.

Já na figura 22-B (tesoura 6) percebe-se que o banzo superior incide apenas no graute do banzo inferior, pois o bambu não está sendo solicitado ao cisalhamento. Isto tende a ocorrer quando o diâmetro externo do banzo superior é de pelo menos 0,01 m menor que o inferior. O enchimento com graute neste apoio, no entanto foi mal executado, devido ao intenso esmagamento entre os banzos. Apesar de não ter ocorrido o cisalhamento verificado na tesoura 1, outro problema ocorreu: devido à má execução, a seção transversal de graute na região do apoio foi bastante reduzida, perdendo assim a resistência mecânica deste apoio.

A tesoura 4, ilustrada na figura 22-C, teve uma carga de ruptura consideravelmente maior que as outras tesouras, pois, além do graute de seus apoios ter sido bem executado, o banzo superior incidiu diretamente no graute do banzo inferior. Desta forma, a resistência mecânica do graute foi totalmente aproveitada. Isto pode ser comprovado pela ausência de cisalhamento e esmagamento na região do apoio até a iminência da ruptura. Esta é, portanto, a principal técnica construtiva que deve ser aplicada para se obter uma tesoura em bambu de máxima eficiência estrutural.

O diafragma, quando mantido intacto na região do apoio, confere grande resistência ao esmagamento e ao cisalhamento, e auxilia no confinamento do graute. Esta importante técnica construtiva, de forma análoga ao que foi visto anteriormente, também pertence à tesoura 4. Ou seja, o conjunto graute-barra roscada, confinado pelo bambu e pelas abraçadeiras é o procedimento metodológico que mais contribui para o ganho de resistência mecânica dos apoios das tesouras.

O correto alinhamento dos banzos superiores com os apoios de 1º e 2º gênero favorece uma compressão direta no graute confinado no banzo inferior. Esta também é uma característica apresentada pela tesoura 4, conforme apresentado pela reta em laranja na figura 23.



Figura 23 – Alinhamento do banzo superior com o apoio  
Fonte: Autores.

As tesouras 5 e 6 apresentaram um importante esmagamento entre os banzos na região do apoio da tesoura, devido a um preenchimento mal executado do graute no interior do bambu. Esta situação provavelmente seria amenizada com a inserção de uma abraçadeira antes do encontro entre os dois banzos, conforme se pode observar nas fotos das figuras 24-A e 24-B.

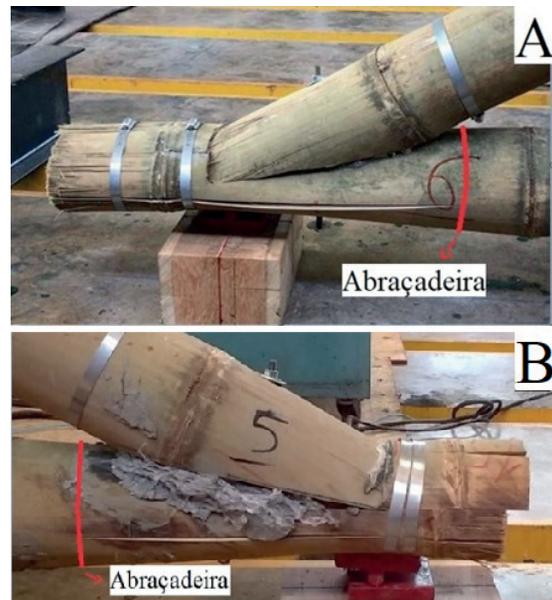
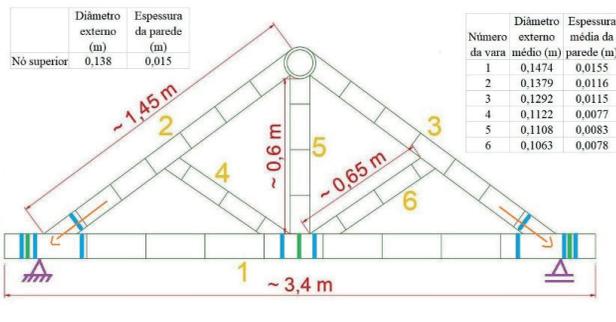


Figura 24 – Proposta de inserção de uma quarta abraçadeira na região do apoio  
Fonte: Autores.

Com as técnicas construtivas analisadas anteriormente, é possível determinar as especificações de uma tesoura em bambu de máxima eficiência estrutural. Esta concepção está ilustrada na figura 25.



**Figura 25** – Conceção de uma tesoura em bambu de máxima eficiência estrutural  
**Fonte:** Autores.

As dimensões apresentadas são as da tesoura 4, pois foi a tesoura que mais se aproximou desta concepção. Estas medidas possibilitaram que os banzos superiores incidissem diretamente no graute dos apoios. Os três diafragmas de bambu que devem ser mantidos intactos, situados no banzo inferior, estão destacados em verde. As abraçadeiras estão destacadas em azul, sendo quatro por apoio e duas na região central do banzo inferior. Destaca-se também o alinhamento dos banzos superiores com os apoios de 1º e 2º gênero pelas retas em laranja.

#### 4.2. Verificação da aplicação prática da tesoura de bambu

Com o objetivo de verificar se as tesouras em bambu ensaiadas no laboratório podem ser utilizadas em coberturas usuais, a seguir é realizada uma simulação para duas situações de utilização em edificações, onde em ambos os casos é utilizado o mesmo vão das tesouras ensaiadas (3 m), e duas distâncias extremas entre tesouras, de 2,5 m e 5,0 m.

a) Cobertura com telha cerâmica, terças, caibros e ripas em madeira:

Os elementos em madeira do telhado (ripa, caibro e terça) foram verificados quanto ao E.L.U e quanto ao E.L.S, sendo que se adotou as dimensões comerciais expostas na tabela 2.

Elemento	Dimensões para vão = 2,5 m (cm <sup>2</sup> )	Dimensões para vão = 5 m (cm <sup>2</sup> )
Ripa	2,0 x 2,5	2,0 x 2,5
Caibro	4,5 x 5,0	4,5 x 5,0
Terça	8,0 x 12,0	13,0 x 20,0 cm

**Tabela 2** – Dimensões dos elementos em madeira  
**Fonte:** Autores.

As dimensões médias do diâmetro externo e da espessura das barras das tesouras de bambu, da espécie *Dendrocalamus giganteus*, encontram-se indicadas na tabela 3.

Barra	Diâmetro externo (cm)	Espessura (cm)
1	15,5	1,5
2 e 3	14,0	1,3
4, 5 e 6	12,0	1,0

**Tabela 3** – Dimensões das barras da tesoura  
**Fonte:** Autores.

Considerando que os pesos específicos dos materiais utilizados, da madeira de 950 kgf/m<sup>3</sup>, do bambu de 800 kgf/m<sup>3</sup>, e do graute de 2200 kgf/m<sup>3</sup>, as cargas distribuídas para cada elemento estrutural estão indicadas na tabela 4.

Cargas (pesos próprios)	Carga para vão = 2,5 m (kgf/m <sup>2</sup> )	Carga para vão = 5 m (kgf/m <sup>2</sup> )
Telha cerâmica	43,20	43,20
Ripa de madeira	1,19	1,19
Caibro de madeira	4,37	4,37
Terça de madeira	12,16	32,93
Tesoura de bambu	9,96	4,98
Total cargas permanentes	70,87	86,67
Sobrecarga	25,00	25,00
Vento de sobrepressão	4,82	4,82
Vento de sucção	61,76	61,76

**Tabela 4** – Cargas atuantes na tesoura de bambu  
**Fonte:** Autores.

Utilizando os parâmetros normativos, para a região de Londrina-PR, obteve-se uma carga de 4,82 kgf/m<sup>2</sup> para o vento de sobrepressão, e de 61,76 kgf/m<sup>2</sup> para o vento de sucção.

Na tabela 5 estão indicadas as cargas concentradas equivalentes ao carregamento distribuído atuante na superfície da cobertura, considerando as distâncias entre tesouras de 2,5m e 5m, para um vão da tesoura de 3 m.

Carga pontual equivalente (kgf)	Vão=2,5 m	Vão=5 m
Cargas permanentes	531,56	1300,00
Sobrecarga	187,50	375,00
Vento de sobrepressão	36,19	72,37
Vento de sucção	463,17	926,34

**Tabela 5** – Cargas pontuais equivalente ao carregamento da superfície da cobertura  
 Fonte: Autores.

Assim, têm-se as seguintes combinações de ações para o estado limite último, para a cobertura com vãos entre tesouras de 2,5 m:

$$Q_{d1} = 1,3 \cdot (531,56) + 1,4 \cdot (187,50) = 953,52 \text{ kgf}$$

$$Q_{d2} = 1,3 \cdot (531,56) + 1,4 \cdot (187,50) + 1,4 \cdot 0,5 \cdot (36,19) = 978,85 \text{ kgf}$$

$$Q_{d3} = 1,3 \cdot (531,56) + 1,4 \cdot 0,75 \cdot (36,19) + 1,4 \cdot 0,4 \cdot (187,50) = 834,02 \text{ kgf}$$

$$Q_{d4} = 1,3 \cdot (531,56) + 1,4 \cdot 0,75 \cdot (-463,17) = 204,69 \text{ kgf}$$

E as seguintes combinações de ações para o estado limite último, para a cobertura com vãos entre tesouras de 5 m:

$$Q'_{d1} = 1,3 \cdot (1300) + 1,4 \cdot (375,00) = 2215,00 \text{ kgf}$$

$$Q'_{d2} = 1,3 \cdot (1300) + 1,4 \cdot (375,00) + 1,4 \cdot 0,5 \cdot (72,37) = 2265,66 \text{ kgf}$$

$$Q'_{d3} = 1,3 \cdot (1300) + 1,4 \cdot 0,75 \cdot (72,37) + 1,4 \cdot 0,4 \cdot (375,00) = 1975,99 \text{ kgf}$$

$$Q'_{d4} = 1,3 \cdot (1300) + 1,4 \cdot 0,75 \cdot (-926,34) = 717,34 \text{ kgf}$$

Desta forma, o valor da carga pontual crítica equivalente às cargas distribuídas atuantes na cobertura, aplicada no ponto superior da tesoura, é de  $978,85 \text{ kgf} \cong 0,98 \text{ tf}$ , quando a distância entre tesouras é de 2,5 m, e de  $2265,66 \text{ kgf} \cong 2,27 \text{ tf}$ , quando a distância entre vãos é de 5 m.

Portanto, as cargas de ruptura medidas nas tesouras ensaiadas são no mínimo 435% maiores que a carga pontual teórica obtida para o vão de 2,5 m, 188% maiores para o vão de 5 m.

b) Cobertura com telha termoacústicas (sanduíche) e terça em madeira:

Realizando a verificação da terça quanto ao E.L.U. e quanto ao E.L.S., obtêm-se dimensões de 6 cm de base e 8 cm de altura, quando a distância entre tesouras é de 2,5 m, e de 10 cm por 16 cm quando a distância entre tesouras é de 5 m. A tesoura de bambu tem as mesmas dimensões expostas na tabela 3. As cargas atuantes neste tipo de cobertura são apresentadas na tabela 6.

Cargas (pesos próprios)	Carga para vão = 2,5 m (kgf/m <sup>2</sup> )	Carga para vão = 5 m (kgf/m <sup>2</sup> )
Telha termoacústica	5,96	5,96
Terça de madeira	6,08	20,27
Tesoura de bambu	9,96	4,98
Total cargas permanentes	22,00	31,21
Sobrecarga	25,00	25,00
Vento de sobrepressão	4,82	4,82
Vento de sucção	61,82	61,82

**Tabela 6** – Cargas atuantes na tesoura com telhas termoacústicas  
 Fonte: Autores.

O peso próprio da tesoura de bambu, o vento e a sobrecarga são considerados da mesma forma que o item anterior.

Na tabela 7 estão indicadas as cargas concentradas equivalentes ao carregamento distribuído atuante na superfície da cobertura, considerando as distâncias entre tesouras de 2,5m e 5m, para um vão da tesoura de 3 m.

Carga pontual equivalente (kgf)	Vão=2,5 m	Vão=5 m
Cargas permanentes	165,01	468,11
Sobrecarga	187,50	375,00
Vento de sobrepressão	36,19	72,37
Vento de sucção	463,17	926,34

**Tabela 7** – Cargas pontuais equivalentes ao carregamento da superfície  
 Fonte: Autores.

Com isso, têm-se as seguintes combinações de ações para o estado limite último para a cobertura com vãos entre tesouras de 2,5 m:

$$Q^*_{d1} = 1,3 \cdot (165,01) + 1,4 \cdot (187,50) = 477,02 \text{ kgf}$$

$$Q^*_{d2} = 1,3 \cdot (165,01) + 1,4 \cdot (187,50) + 1,4 \cdot 0,5 \cdot (36,19) = 502,35 \text{ kgf}$$

$$Q^*_{d3} = 1,3 \cdot (165,01) + 1,4 \cdot 0,75 \cdot (36,19) + 1,4 \cdot 0,4 \cdot (187,50) = 357,51 \text{ kgf}$$

$$Q^*_{d4} = 1,3 \cdot (165,01) + 1,4 \cdot 0,75 \cdot (-463,17) = -238,81 \text{ kgf}$$

E as seguintes combinações de ações para o estado limite último, para a cobertura com vãos entre tesouras de 5 m:

$$Q^*_{d1} = 1,3 \cdot (468,11) + 1,4 \cdot (375,00) = 1133,55 \text{ kgf}$$

$$Q^*_{d2} = 1,3 \cdot (468,11) + 1,4 \cdot (375,00) + 1,4 \cdot 0,5 \cdot (72,37) = 1184,21 \text{ kgf}$$

$$Q^*_{d3} = 1,3 \cdot (468,11) + 1,4 \cdot 0,75 \cdot (72,37) + 1,4 \cdot 0,4 \cdot (375,00) = 894,53 \text{ kgf}$$

$$Q^*_{d4} = 1,3 \cdot (468,11) + 1,4 \cdot 0,75 \cdot (-926,34) = -270,49 \text{ kgf}$$

A combinação para o vento de sucção, neste caso, em que a cobertura é mais leve, provoca uma carga pontual negativa (para cima) na tesoura. Não se têm dados acerca da ruptura da tesoura para cargas pontuais negativas, porém é fácil perceber que a tesoura não será solicitada quanto ao cisalhamento nos seus apoios, que são os pontos mais frágeis da estrutura. Além disso, as cargas de 238,81 kgf e 270,49 kgf são pequenas em relação as cargas críticas calculadas para a estrutura.

Temos então que a carga pontual crítica, equivalente às cargas distribuídas atuantes em coberturas reais, aplicada no ponto superior de uma tesoura real é de, aproximadamente,  $502,35 \text{ kgf} \cong 0,50 \text{ tf}$ , para distância entre tesouras de 2,5 m e de  $1184,21 \text{ kgf} \cong 1,18 \text{ tf}$  para distância entre vãos de 5 m.

As cargas últimas das tesouras ensaiadas são de 848% a 1308% maiores que a carga pontual encontrada para o vão de 2,5 m e de 360% a 555% maiores que a carga pontual encontrada para o vão de 5 m (sem considerar a carga da tesoura 3, devido ao problema no ensaio).

Em relação ao deslocamento da tesoura, a NBR 7190-1997 considera no item 9.2.1 (Deformações limites para construções correntes) que para as construções correntes (com carregamentos usuais), a flecha limite  $f_{lim}$  é de 1/200 do vão.

Dessa forma, considerando o vão de 3 m, o deslocamento limite da tesoura é de 15 mm.

$$f_{lim} = \frac{l}{200} = \frac{3000}{200} = 15 \text{ mm}$$

Na figura 26 são mostrados dois gráficos, cada tipo de cobertura. Em cada gráfico são mostrados os diagramas carga x deslocamento das seis tesouras ensaiadas, além da curva média (em linha preta), e duas linhas horizontais, referentes as duas cargas equivalentes calculadas quando a distância entre as tesouras é de 2,5 m e 5 m.

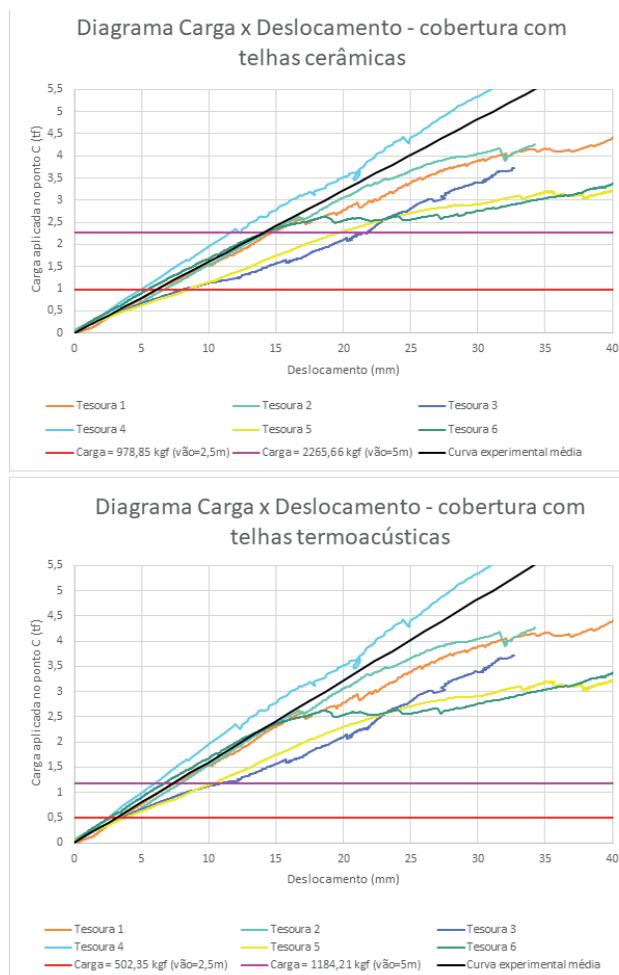


Figura 26 – Diagrama carga (tf) x deslocamento (mm)  
 Fonte: Autores.

Na figura 26 pode-se constatar que para a cobertura com telhas cerâmicas, o deslocamento limite de 15 mm é ultrapassado nas tesouras 3 e 5 para a carga de 2,27 tf, porém, a curva média das tesouras está abaixo deste limite. Na cobertura com telhas termoacústicas, para ambos os vãos entre tesouras de 2,5 m e 5 m, o deslocamento das curvas experimentais é menor que 15 mm, satisfazendo o Estado Limite de Serviço (E.L.S.).

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No que diz respeito a montagem da tesoura, constatou-se que o conjunto graute-barras roscadas, confinado pelo bambu e pelas abraçadeiras ou fitas metálicas foi o principal elemento de resistência mecânica dos apoios das tesouras em bambu, aprimorando consideravelmente o ponto débil deste tipo de estrutura. É interessante também ressaltar as configurações mais eficientes de realização e de funcionalidade da tesoura: a) com o encaixe ideal entre os banzos inferior e superior da tesoura, tendo o colmo da barra diagonal entrando no colmo da barra

horizontal; b) com nós (diafragmas) nos colmos suscetíveis ao cisalhamento, pois um colmo com nó tem resistência maior que um colmo sem nó; c) Com a fita padrão, pois é mais eficiente tanto em sua resistência quanto em seu manuseio, em relação à fita furada.

Quanto às cargas, para os dois tipos de telhas e para distância entre tesouras de 2,5 m a 5,0 m, constatou-se que as tesouras em bambu reforçadas resistem aos esforços internos provocados pelas cargas normativas que atuam na cobertura.

No caso dos deslocamentos da tesoura submetida aos carregamentos reais, sendo a flecha limite igual a 15 mm para a verificação do estado limite de serviço, para as cargas pontuais equivalentes ao carregamento superficial da cobertura, o deslocamento não ultrapassou o limite (comparando com os deslocamentos experimentais).

Assim, conclui-se que o bambu devidamente tratado contra fungos e carunchos, tendo sua durabilidade garantida, é viável para utilização estrutural nas tesouras, sendo seguras tanto para o estado limite último quanto para o estado limite de serviço, quando devidamente dimensionados. As tesouras em bambu podem ser utilizadas nas coberturas das edificações, sobretudo em substituição às tesouras de madeira, afinal o bambu é um material altamente renovável, leve, e tem ótimas propriedades mecânicas, além de contribuir para um desenvolvimento mais sustentável.

## AGRADECIMENTOS

Aos técnicos do Laboratório de Estruturas da UEL Luís Gustavo, Carlos e Reginaldo pela ajuda na preparação e realização dos ensaios das tesouras.

## REFERÊNCIAS

BARBOSA, Diogo Rodrigo; CARBONARI, Gilberto. **Estudo experimental de tesouras de bambu**. In: V Encontro de Sustentabilidade em Projeto, 2017, Florianópolis. ENSUS 2017. Florianópolis: UFSC, 2017. v. 1. p. 1.

CARBONARI, Gilberto. **Tratamento do Bambu com Tanino**. 2013. (Brasil). Patente: Privilégio de Inovação. Número do registro: BR1020130207888, título: Tratamento do Bambu com Tanino. Instituição de registro: INPI Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

CARBONARI, Gilberto; DA SILVA JR, Nelson Matias; PEDROSA, Nicolás Henrique; ABE, Camila H.; SCHOLTZ,

Marcos F.; ACOSTA, Caio. C. V.; CARBONARI, Luana T. . **Propriedades Mecânicas de Várias Espécies de Bambu**. In: **XV EBRAMEM - Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira**, 2016, Curitiba. Anais do EBRAMEM-Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, 2016.

CARBONARI, Gilberto; DA SILVA JR, Nelson Matias; PEDROSA, Nicolás Henrique; ABE, Camila Hirome; SCHOLTZ, Marcos F.; ACOSTA, Caio. C. V.; CARBONARI, Luana T.. **Bambu - O aço vegetal**. Mix Sustentável, v. 3, p. 17-25, 2017.

GONÇALVES, Vitória Maria. **Estudo teórico e experimental de tesouras de bambu**. 2018. 118 páginas. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2018.

JANSSEN, Jules J.A. **Designing and Building with Bamboo**. TECHNICAL REPORT NO. 20, International Network for Bamboo and Rattan 2000.

LÓPEZ, Oscar Hidalgo. **Manual de construcción com bambú: construcción rural**. 1.ed. Bogotá: Estudios Técnicos Colombianos Ltda, 1981.

PADOVAN, R. B. **O bambu na arquitetura: design de conexões estruturais**. 2010. 182f. Monografia (Especialização em Design) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Bauru, 2010.

PRONI, Gustavo. **Comportamento Mecânico-Experimental de Tesouras em Bambu**. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Bacharelado em Engenharia Civil. Centro de Tecnologia e Urbanismo. Universidade Estadual de Londrina, 2018.

SÁNCHEZ QUINTERO, Carlos Andrés. **Desenvolvimento de uma ligação estrutural para construção com bambu Guadua**. 2015. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 2015.

VASCONCELLOS, Raphael Moras de. **Cartilha de Fabricação de Móveis de Bambu**. 1.ed. Maceió: Instituto do Bambu, 2004

## AUTORES

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2220-6037>

**GILBERTO CARBONARI, Dr.** | Universidade Estadual de Londrina  
| Engenharia Civil | Londrina, PR - Brasil | Correspondência  
para: (Rua Jerusalém, 300, apto 1704, bloco 3 - Londrina -  
PR, CEP: 86050-520) | E-mail: carbonar@uel.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8088-3362>

**GUSTAVO PRONI** | Universidade Estadual de Londrina |  
Engenharia Civil | Londrina, PR - Brasil | Correspondência  
para: (Avenida Juscelino Kubitschek, 1361, apto 904 -  
Londrina - PR, CEP: 86020-000) | E-mail: gustavoproni@  
hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8369-6696>

**VITÓRIA MARIA GONÇALVES** | Univeridade Estadual de Londrina  
| Engenharia Civil | Londrina, PR - Brasil | Correspondência  
para: Rua Santo Menegazzo, 197 - Londrina-PR, CEP:  
86072-280) | E-mail: vitoriamgonc@gmail.com

## COMO CITAR ESTE ARTIGO

CARBONARI, Gilberto; PRONI, Gustavo; GONÇALVES,  
Vitória Maria. Aplicação estrutural do bambu – te-  
souras de duas águas: Análise teórica-experimental.  
**MIX Sustentável, [S.l.], v. 5, n. 1, p. 19-33, mar-jun.**  
**2019.** ISSN 24473073. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em:  
dia mês. ano. doi:<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2019.v5.n1.19-33>.

**DATA DE ENVIO:** 28/06/2018

**DATA DE ACEITE:** 03/08/2018



# ECODESIGN VIA BIOCOMPÓSITOS POLIMÉRICOS: ENVELHECIMENTO, ANÁLISE ESTRUTURAL E RECICLAGEM

*ECODESIGN BY POLYMERIC BIOCOMPOSITES: AGING, STRUCTURAL ANALYSIS AND RECYCLING*

**KILDER RIBEIRO, Dr.** | UFRN

**CRISTIANO ALVES, Dr.** | UFSC

**LUIZ HENRIQUE** | UFSC

## RESUMO

Este artigo objetiva avaliar materiais bi compósitos de matriz polimérica, obtidos a base de resina poliéster com Neopentil Glicol (NPG), denominada de resina náutica. Foram confeccionadas industrialmente por laminação manual, o laminado BJ, na forma de quatro camadas de tecido de juta e o painel BMJ no formato sanduiche, com quatro camadas de tecido de juta e uma camada intermediária (núcleo) com resíduos de madeiras embebidas em resina náutica. Os compósitos foram submetidos ao processo de envelhecimento ambiental acelerado com ciclos de radiação UV e de umidade por vapor. Após o envelhecimento os mesmos foram processados e reciclados dando origem a uma terceira configuração, o painel BMJ-R (reciclado) contendo quatro camadas de tecido de juta e um núcleo híbrido com resíduos de madeira e fibras trituradas. As configurações em estado original, reciclado, envelhecido e os corpos de prova de resina náutica passaram por ensaios mecânicos de tração, flexão e compressão e ensaios físicos de densidade volumétrica. O painel BMJ também passou pelo ensaio de absorção de umidade em dois ambientes: água destilada e água do mar. E, por fim, feitas análises comparativas das características da fratura, dos desempenhos mecânicos antes e após o envelhecimento, do processo de reciclagem e da integridade estrutural foram realizadas para se formar uma compreensão da influência das diversas configurações e fatores, no comportamento mecânico dos biocompósitos poliméricos. Os resultados apontam para a viabilidade estrutural dos biocompósitos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Biocompósito; Resina náutica; Envelhecimento acelerado; Reciclagem; Retenção de propriedades e fratura mecânica.

## ABSTRACT

*Biocomposites needs attempt to general services conditions with minimal changes of properties through its life cycle to serve satisfactory for industrial interests. So this thesis intent to develop new polymeric biocomposite made from polyester isofthalic resin with Neopentil Glicol (NPG) as matrix, named nautical resin. This biocomposites it's filled by wood flour and untreated woven jute-fabric. First of all, two configurations were produced by industrial hand lay-up. The BJ laminate, with four jute-fabric layers and BMJ sandwich panel, with four jute-fabric layers and an intermediate layer (nucleon) by wood flour and nautical resin were subject to accelerated ageing process with UV radiation and humidity cycles, through accelerated test device building by DCR/CNPq according ASTM G 53 – 96. After ageing the BMJ panel and BJ laminate body- proofs were processed and recycled to produce a third configuration, named BMJ-R panel (recycled) which it's containing four jute-fabric layers and an intermediate hybrid nucleon with wood flour and jute fibers grinded into nautical resin. The non-aged and recycled configurations were passed by tensile, flexural and compression mechanical properties tests and physical test of volumetric density. BMJ panel passed again for two ambient water absorption tests: distilled and sea water. Aged biocomposites and RN+NPG (nautical resin) body-proofs passed by tensile and flexural mechanical properties tests and were analyzed by mass lost degradation after ageing test to observe how its configuration and nucleon presence may influence that materials and in which aspects. The nautical resin samples works as a comparative parameter for contribution to biocomposites performance face to studied interperate factors. Analyses of fracture comparative, mechanical performance, before and after ageing, recycling processes and the structural integrity were realized to form the global understanding about the influence of the different configurations and factors into polymeric biocomposites made here.*

**KEYWORDS:** Biocomposite; Nautical resin; Natural fillers; Accelerated ageing; Recycling, Residual properties and mechanical fracture.



## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Materiais Compósitos e os Biocompósitos

O ser humano sempre buscou encontrar na natureza recursos que permitissem a ele uma melhor qualidade de vida. Os materiais dispostos na natureza foram utilizados, transformados e aperfeiçoados, ao longo dos séculos, de acordo com a necessidade, e posterior conveniência do homem (Gomes, 2003). Entretanto o uso demasiado de materiais resistentes ao desgaste natural ou não recicláveis, como é o caso dos derivados fósseis, levou pesquisadores a uma nova investida rumo ao desenvolvimento de materiais, que além de úteis na confecção e composição de objetos, sejam aptos a oferecer aplicações com um menor risco ao meio ambiente.

Nesse contexto, os materiais compósitos podem atender a variados tipos de demanda, em termos de aplicação industrial e no atendimento às causas ambientais. Os mesmos são caracterizados pela união física e/ou química de dois ou mais elementos, uma matriz e um reforço capazes de permanecerem distintos, mas mecanicamente separáveis e fabricados de modo a controlar a proporção de cada componente. Compósitos em geral são capazes de oferecer propriedades específicas que não seriam alcançadas por cada um de seus componentes quando constituídos separadamente (ASTM D3878-95).

Os materiais compósitos que mais atendem as propriedades específicas podem ser classificados como: a) compósitos verdes ou biocompósitos – são os que apresentam menor impacto ambiental, produzidos a partir de uma matriz polimérica sintética, renovável ou com característica de biodegradabilidade combinada com fibras renováveis ou naturais; e b) os compósitos híbridos que formam a classe configurada a partir de uma mistura de fibras sintéticas e/ou naturais modificadas (John e Thomas, 2008).

O interesse em desenvolver compósitos com menor impacto ambiental decorreu da preocupação de membros da comunidade científica, de governantes e da sociedade em reduzir o impacto ambiental que, segundo a Agência Europeia do Ambiente (E. E. A., 2012) a produção e o descarte de produtos não recicláveis ou não degradáveis podem estar provocando alterações climáticas, a poluição de alimentos, deterioração de leitos de rios e terras, os quais comprometem a qualidade de vida no planeta.

Biocompósitos têm sido utilizados nos setores automotivos, na construção civil e militar, de eletro-componentes, equipamentos de uso doméstico, produtos de

consumo (embalagens), no setor esportivo e aeroespacial. Sua importância econômica pode ser medida pela elevação nas projeções de demanda mundial ao longo das próximas décadas (Material Thoughts, 2002) (Dias, 2008).

No Brasil, a investigação do uso de reforços de origem vegetal vem obtendo destaque por se tratarem de fontes renováveis e disponíveis em grande quantidade no país. Existe uma enorme gama de fibras naturais com potencial para obtenção de propriedades físicas e mecânicas desejáveis para uso industrial (Marinelli, 2008). Compósitos reforçados por estas fibras são considerados menos agressivos ao meio ambiente, apresentam baixo custo de aquisição e fabricação em relação aos reforços sintéticos atualmente empregados e podem representar uma nova fonte de renda para a população rural do nordeste brasileiro (Aquino et al., 2008).

Para servir satisfatoriamente aos interesses produtivos industriais, os biocompósitos assim como qualquer outro material, necessitam atender às condições gerais de serviço com mínimas mudanças de propriedades ao longo de seu ciclo de vida. Para se prever por quanto tempo um biocompósito manterá suas características e propriedades em perfeitas condições de serviço, é determinante utilizar os testes de envelhecimento acelerado para conhecer os mecanismos que afetam sua degradação e que comprometem a aplicação industrial destes materiais.

Este artigo mostra o desenvolvimento de biocompósitos poliméricos, optando pela resina náutica (poliéster isoftálica aditivada por Neopentil Glicol) como matriz, uma vez que a mesma é considerada de maior resistência aos fatores ambientais de radiação ultravioleta, temperaturas elevadas e umidade (Peters, 1998) (Reichhold, 2012). Neste sentido, se cria possibilidades de ser aplicada na confecção de acessórios submetidos a ambientes expostos a intempéries, incluindo-se o setor náutico.

## 2. OBJETIVOS

Desenvolver novos materiais biocompósitos poliméricos, na forma de painéis e de laminados. Os mesmos são obtidos a base de resina poliéster com Neopentil Glicol, denominada de resina náutica, e possuem como reforços, resíduos de madeira e tecidos bidirecionais de fibras de juta. O desempenho mecânico é analisado bem como a sua integridade estrutural após os mesmos serem submetidos às condições de envelhecimento ambiental acelerado. O processo de reciclagem dos biocompósitos envelhecidos é empregado na concepção de um novo biocompósito.

### 3. METODOLOGIA

Inicialmente duas configurações de biocompósitos (laminado e painel sanduíche) foram desenvolvidas (figura 1) e submetidas ao processo de envelhecimento ambiental no modo acelerado, após serem confeccionados industrialmente. O biocompósito do tipo laminado foi confeccionado na forma de 04 (quatro) camadas de tecido bidirecional de fibras de juta. O mesmo foi definido como laminado BJ. O biocompósito na forma de painel sanduíche possui quatro camadas de tecido bidirecional de fibras de juta e uma camada central (núcleo) constituída de resíduos de madeira, sendo definido como painel BMJ.

Para os biocompósitos no estado original (sem terem sido expostos ao envelhecimento), foram confeccionados corpos de provas para determinação das propriedades mecânicas de tração e compressão uniaxial, flexão em três pontos e de propriedades físicas por meio do ensaio de densidade volumétrica, conforme normas ASTM D638-10, ASTM D3039M-08, ASTM D 790 - 07. As configurações envelhecidas (laminado BJ, painel BMJ e a resina náutica não reforçada) foram ensaiadas quanto às propriedades mecânicas de tração uniaxial e flexão em três pontos.



Figura 1 – Produção dos biocompósitos.

A integridade estrutural dos biocompósitos foi avaliada assim como sua deterioração por perda de massa observando as possíveis perdas e/ou ganhos em suas propriedades mecânicas durante e após o teste de envelhecimento. Este estudo também foi desenvolvido com relação ao comportamento mecânico do painel BMJ após envelhecimento por absorção de umidade, tanto em água salgada quanto em água destilada, e na forma mais agressiva de exposição, ou seja, a da imersão do material. Esse comportamento foi comparado, em sequência, ao do biocompósito no estado original.

Após o processo de envelhecimento ambiental (ASTM G 53 - 96) e da realização dos ensaios mecânicos, os corpos de prova dos biocompósitos foram reprocessados para confecção da terceira configuração no formato de painel, mantendo a mesma configuração do painel original, exceto pela formação de um núcleo híbrido, ou seja, composto por resíduos de madeira e fibras de juta,

ambos reprocessados. Este novo biocompósito passou pelos mesmos ensaios físicos e mecânicos realizados para as duas configurações iniciais.

Concluída toda a parte experimental referente aos ensaios mecânicos, foi realizada uma série de análises em níveis macroscópicos e microscópicos da caracterização da fratura mecânica dos biocompósitos e da resina náutica para todas as condições de ensaios. Por último, foi realizada a avaliação global das propriedades mecânicas quanto à influência do tipo de configuração e do processo de reciclagem.

### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo analisará por meio de estudos comparativos entre os biocompósitos a influência da configuração dos mesmos, caracterizada pela presença dos núcleos (original e reciclado) nas propriedades mecânicas nas diversas condições de ensaios.

A análise se dará em três partes distintas: a primeira estabeleceu relações entre os tipos característicos das fraturas apresentadas em cada ensaio e os danos ocorridos nos laminados e painéis produzidos; a segunda parte inicialmente estabelecerá comparações entre o desempenho mecânico do laminado (BJ) com os painéis no estado original (BMJ) e reciclado (BMJ-R); em seguida será determinada essa influência nas propriedades residuais dos biocompósitos submetidos, tanto aos processos de envelhecimento ambiental acelerado e de imersão em água destilada, quanto ao processo de reciclagem. O estudo tem por parâmetro o laminado BJ e o painel no estado original BMJ. Todas as configurações foram analisadas nos ensaios de tração uniaxial e flexão em três pontos, e apenas os biocompósitos originais e o painel reciclado foram observados quanto à compressão; por último será apresentado e comentado um comparativo entre a deterioração por perda de massa entre os biocompósitos produzidos e a resina náutica que lhes serviu de matriz.

#### 4.1. Comparativo de Fratura em Biocompósitos

Ao se comparar os tipos de danos presentes em cada ensaio realizado, seja na tração uniaxial, flexão em três pontos ou na compressão uniaxial, pretende-se entender como a presença do núcleo em laminados compósitos interfere na formação e propagação do dano através de um estudo comparativo.

As três configurações em estado original: laminado BJ, painel BMJ e painel BMJ-R, apresentaram alguns aspectos em comum. Os mais significantes foram o mesmo modo de fratura final do tipo LGM (fratura lateral na região

mediana do galgo) e a concentração de danos na região de fratura final, que resultaram numa distribuição menos intensa ao longo dos corpos de prova o que tornam por caracterizar tais materiais como frágeis.

No ensaio de tração uniaxial, observa-se que as diferentes composições na estrutura produziram danos diferenciados, até mesmo entre os painéis BMJ e BMJ-R, como é demonstrado na figura 2.

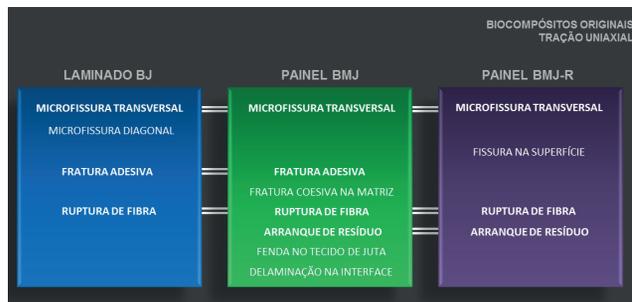


Figura 2 – Relação entre tipos de fratura dos biocompósitos originais na tração uniaxial

Apenas dois aspectos estiveram presentes em todos os materiais, as microfissuras transversais e as rupturas de fibra. Não ocorreram muitos pontos de correlação entre os painéis (arranque de resíduo) ou destes com o laminado BJ (fratura adesiva), o que reforça que as modificações nos biocompósitos podem resultar em distintas características de fratura. O núcleo híbrido não apenas melhorou o desempenho mecânico do painel BMJ-R, mas tornou-o também menos propenso aos danos registrados no painel original.

No caso da flexão em três pontos outro fator é percebido. Os compósitos que não tiveram em sua composição qualquer material envelhecido ou degradado registraram um maior número de aspectos em comum, como visto na figura 3.

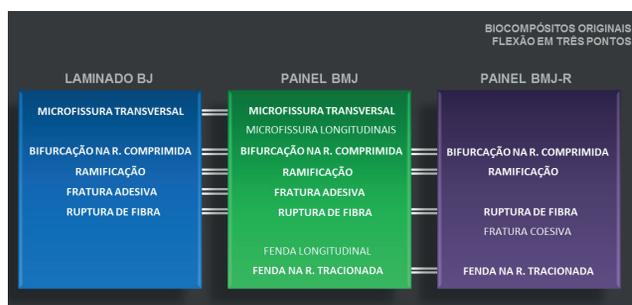


Figura 3 – Relação de tipos de fratura entre biocompósitos na flexão em três pontos.

Contudo, em todos os compósitos ocorreram bifurcações da fratura final na região comprimida com ramificações e rupturas de fibra, este último aspecto foi comum a todos os biocompósitos aqui estudados.

No ensaio de compressão a qualidade do sistema fibra/matriz e o tipo de carga aplicada produziram comportamentos bastante distintos. Na prática, não foram observadas importantes relações de semelhança nem mesmo entre os painéis, a exceção da fratura adesiva e da ruptura de fibra, como observado no comparativo da figura 4.

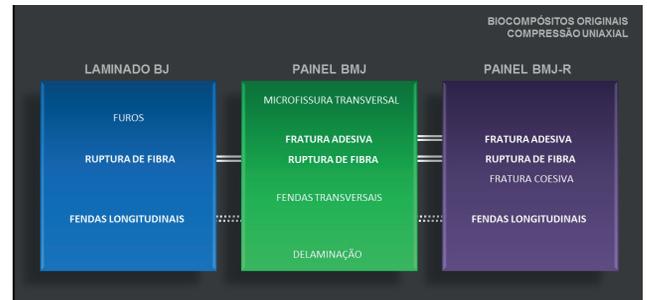


Figura 4 – Relação de tipos de fratura entre biocompósitos na compressão uniaxial

Dessa forma, registrou um maior número de microfissuras, fraturas, rupturas de fibras, fendas ou delaminações, notadamente em relação ao painel reciclado. O melhoramento do processo de laminação do BMJ-R diminuiu a ocorrência de imperfeições, além de melhorar as variadas interfaces do painel, resultando com isto num mecanismo de dano menos intenso.

Na análise das fraturas entre os biocompósitos em estado envelhecido ou com componentes que sofreram envelhecimento, observa-se que na tração uniaxial as diferentes composições na estrutura mantêm os danos diferenciados. Há, entretanto um maior número de fraturas, que permitem estabelecer relações tanto entre painéis quanto destes com o laminado BJ-E, como é demonstrado na figura 5.



Figura 5 – Relação de tipos de fratura entre biocompósitos envelhecidos na tração uniaxial.

Assim, em todos os ensaios realizados o laminado BJ, configuração sem a presença de um núcleo, registrou os melhores resultados. A presença de um núcleo aumenta o número de camadas e, por conseguinte também o número interfaces, tornando mais complexa à perfeita adesão entre as camadas, bem como da interface entre reforço e resina. Em grande parte, isto explica o desempenho mecânico inferior que os painéis apresentaram.

Apesar das melhorias em sua fabricação o painel BMJ-R possui em seu núcleo híbrido reforços degradados, que embora estejam protegidos por novas camadas de resina e de tecido bidirecional de fibras de juta, estes podem ter reduzido seu desempenho mecânico em alguns ensaios.

#### 4.2. Comparativo de Desempenho Mecânico dos Biocompósitos

Na figura 6 estão dispostas, em comparativo, as variações nas propriedades de tensão e de módulo de elasticidade medidos na tração uniaxial dos painéis BMJ e BMJ-R em relação ao laminado BJ, enquanto que nas figuras 7 e 8 apresentam essas variações de propriedades para os casos de flexão em três pontos e da compressão uniaxial, respectivamente.

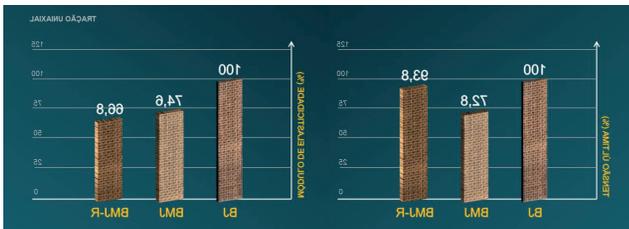


Figura 6 – Variação entre propriedades dos biocompósitos originais na tração uniaxial.

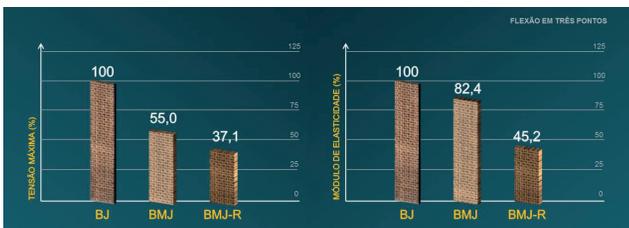


Figura 7 – Variação entre propriedades dos biocompósitos originais na flexão em três pontos.

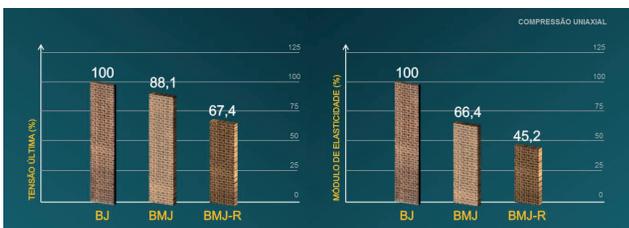


Figura 8 – Variação entre propriedades dos biocompósitos originais na compressão uniaxial.

É importante notar que o fato de na tração a tensão última do painel reciclado ter superado a do painel em estado original pode decorrer de uma concentração aleatória de reforço com menor degradação em seu núcleo, já que apenas uma face dos corpos de prova reprocessados foi totalmente exposta ao envelhecimento ambiental acelerado.

No caso do desempenho mecânico dos biocompósitos laminado BJ-E, painel BMJ-E e painel BMJ-U no estado envelhecido ou degradado pela saturação na água

destilada, foram avaliados em termos das suas respectivas integridades estruturais, ou seja, a partir da determinação das propriedades residuais (retenção das propriedades) de resistência e módulo de elasticidade com relação às mesmas configurações em estado original.

Tanto a resistência residual quanto o módulo de elasticidade residual foram determinados pela razão entre os respectivos valores obtidos no estado envelhecido e no estado original para cada biocompósito estudado. No caso do painel BMJ-R a presença nos comparativos de suas propriedades residuais se justifica pelo fato dos reforços de seu núcleo terem passado pelo processo de envelhecimento. Todo o estudo será desenvolvido através do comparativo dessas propriedades para os ensaios de tração e flexão em três pontos.

Dessa forma, como mostra a figura 9, os valores da resistência residual e módulo de elasticidade residual medidos na tração uniaxial dos biocompósitos envelhecidos e degradados. Já a figura 10 mostra os valores da resistência residual e módulo de elasticidade residual medidos na flexão em três pontos dos mesmos biocompósitos já observados na tração.

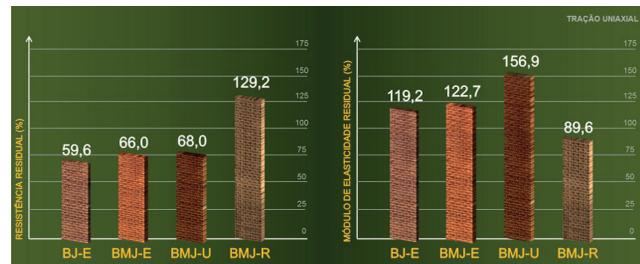


Figura 9 – Resistência residual e módulo de elasticidade residual dos biocompósitos envelhecidos na tração uniaxial.

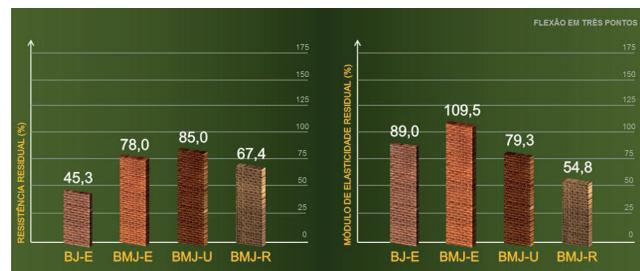


Figura 10 – Resistência residual e módulo de elasticidade residual dos biocompósitos envelhecidos na flexão em três pontos.

Se observa que o laminado BJ, que no estado original apresentou um desempenho superior aos demais biocompósitos em termos de resistência, demonstrou ter maior suscetibilidade ao envelhecimento acelerado, registrando os menores valores de retenções dessa propriedade, quando comparado ao painel BMJ, independente

do tipo de carregamento, condições de envelhecimento e processo de reciclagem. Quase todos os materiais envelhecidos apresentaram melhora em seu módulo de elasticidade na tração, a exceção do painel BMJ-R.

Para finalizar as análises de desempenho mecânico, na figura 11 é possível observar em visão simultânea um comparativo global da resistência última e rigidez dos biocompósitos em estado original, envelhecidos e reciclado em todos os ensaios realizados.

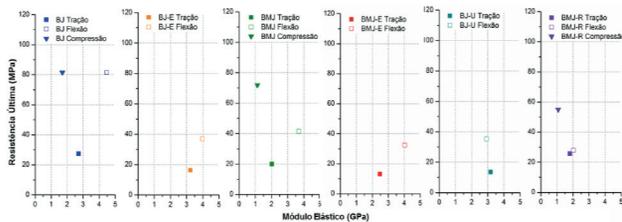


Figura 11 – Comparação global do desempenho mecânico dos biocompósitos.

A análise através do comparativo acima permite observar como o laminado sofre uma maior degradação quando envelhecido, perdendo grande parte de seu desempenho, sobretudo na flexão. Também fica evidente que nas diferentes configurações e condições, muito embora tenha apresentado resultados inferiores ao laminado em estado original, o painel BMJ consegue manter a maior parte de suas propriedades mecânicas, ou seja, possui uma maior vida útil em condições de serviço.

### 4.3. Comparativo de Deterioração por Perda de Massa

O estudo da perda de massa realizado de modo contínuo durante o teste de envelhecimento e imediatamente ao final dos ciclos de radiação e de umidade por vapor aquecido pretende aqui entender como tais fatores se relacionam entre os biocompósitos com e sem a presença de um núcleo em sua configuração. A figura 12, a seguir, é um comparativo entre a perda de massa dos biocompósitos em relação à resina náutica durante o teste de envelhecimento ambiental acelerado, perdas essas medidas após exposição ao ciclo de radiação ultravioleta.

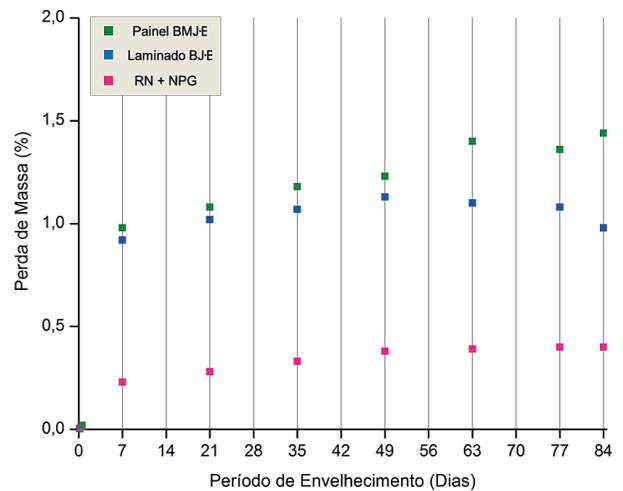


Figura 12 – Perda de massa entre a resina náutica e biocompósitos envelhecidos após exposição de radiação ultravioleta.

Em observância aos resultados, a perda de massa registrada unicamente na resina corresponde apenas a 27% da perda registrada pelo painel BMJ-E e 34% da perda registrada pelo laminado BJ-E. Já na figura 13 é observado um comparativo entre a perda de massa dos biocompósitos em relação à resina náutica durante o teste de envelhecimento ambiental acelerado, perdas essas medidas após exposição ao ciclo de vapor aquecido.

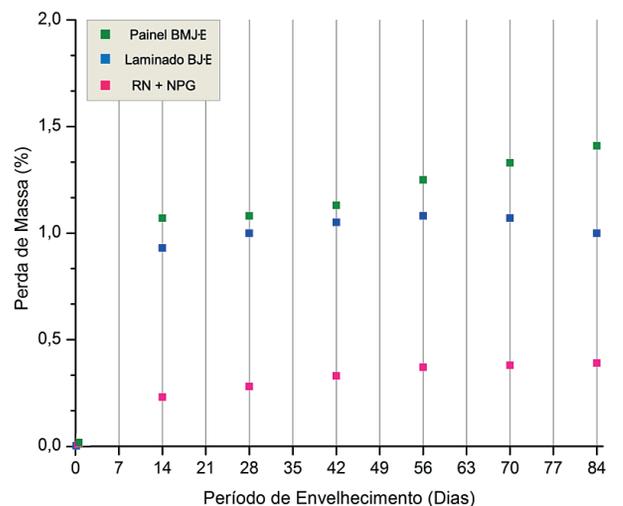


Figura 13 – Perda de massa entre a resina náutica e biocompósitos envelhecidos após exposição de vapor aquecido.

No caso das medidas efetuadas após o ciclo de vapor aquecido, os resultados mostram que a perda de massa verificada unicamente pela resina, equivale a 28% da perda ocorrida no painel BMJ-E e 40% da perda registrada no laminado BJ-E. Como esperado os biocompósitos perdem mais massa que a resina, isto devido à degradação dos reforços naturais, mais sensíveis aos efeitos da temperatura

elevada e da absorção de umidade e principalmente da degradação ocorrida na interface fibra/resina. Há, contudo um ponto importante para se destacar, o painel BMJ, perde massa apresentando o mesmo perfil que o da resina náutica.

Outro fator também a ser levado em conta é a qualidade de adesão entre as camadas tanto do laminado BJ quanto do painel BMJ, as quais podem ter sido afetadas pelo processo de envelhecimento. Todos esses fatores contribuem para que a resina náutica perca em grande parte a sua capacidade de suportar intempéries sem sofrer um processo mais intenso de deterioração.

## 5. CONCLUSÕES

Os polímeros reforçados com materiais de origem vegetal apresentam um ciclo de vida reduzido, com perda de propriedades, em alguns casos acentuados, todavia oferecem um baixo custo de aquisição e processamento. A sua maior capacidade de degradação, que poderia significar um empecilho a sua aplicação industrial, também representa o benefício de oferecer um menor impacto ao meio ambiente. A reciclagem realizada neste estudo possibilitou uma extensão do ciclo de vida do material, para moderadas condições de serviço. Entretanto os benefícios socioeconômicos decorrentes da redução do despejo de matéria orgânica na natureza (resíduos de madeira em lixões de centros urbanos) ou de materiais processados industrialmente evita que os mesmos funcionem como agentes poluentes dos meios urbanos ou rurais, que se constitui uma das maiores agressões ao nosso ecossistema.

## REFERÊNCIAS

AQUINO, E. M. F. S. & SILVA, R. V.: Curaua fiber: a new alternative to polymeric composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, Vol. 27, 1, pp103-112, 2008.

ASTM D 3878-95: Standard terminology for composite materials, Philadelphia (PA): American Society for Testing and Materials; 1995.

DIAS, A. G.: Polímeros naturais. *Jornal dos Plásticos*. Rio de Janeiro: DQO/Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2008.

E. E. A. Alterações Climáticas. Agência Europeia do Ambiente. Artigos e Relatórios. Disponível em:

<<http://www.eea.europa.eu/pt/themes/climate/about-climate-change>> Acesso em: 18 de novembro de 2012.

GOMES, L. V. N.: Artes do desenho: Desenhismo. Santa Maria – RS, Ed. U.F.S.M., 2003

JONH, M. J. & THOMAS, S.: Review: Biofibres and biocomposites. *Carbohydrates Polymers*, Vol. 71, 2008.

MARINELLI, A. L.; MONTEIRO, M. R.; AMBRÓSIO, J. D.; BRANCIFORTI, M. C.; KOBAYASHI, M. & NOBRE, A. D.: Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais naturais da biodiversidade: uma contribuição para a sustentabilidade amazônica. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 18, n. 2, p. 92-99, 2008.

MATERIAL THOUGHTS.: Fiber reinforced plastic use. *Plastic News*. August, 2002.

PETERS, S. T.: Handbook of composites. Chapman & Hall. Cambridge University Press, 1998.

REINCHOLD: Guia de produtos compositos. Reinhold do Brasil, 2012.

## AUTORES

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4162-1669>

**KILDER CÉSAR DE ARAUJO RIBEIRO, Dr.** | Universidade Federal do Rio Grande do Norte | Design | Natal, RN - Brasil | Correspondência para: Rua dos Tororós, 2392 - Ed. Bellagio, apto 2002 - Lagoa Nova, Natal - RN, 59054-550 | E-mail: [kildercesar@gmail.com](mailto:kildercesar@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2541-300X>

**CRISTIANO ALVES DA SILVA, Dr.** | Universidade Federal de Santa Catarina | Design | Florianópolis, SC - Brasil | Correspondência para: R. Santos Saraiva, 739 - Apto 101 - Estreito - Florianópolis/SC - 88070-100 | E-mail: [cralves-design@gmail.com](mailto:cralves-design@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6572-8276>

**LUIZ HENRIQUE CASTOR FREIRE** | Universidade Federal de Santa Catarina | Design | Florianópolis, SC - Brasil | Correspondência para: Rua Doutor Vila Nova 186, Villa Buarque, São Paulo- SP: 01222-020 | E-mail: [luizhenrique\\_freire@hotmail.com](mailto:luizhenrique_freire@hotmail.com)

## COMO CITAR ESTE ARTIGO

RIBEIRO, Kilder; ALVES, Cristiano; HENRIQUE, Luiz. Ecodesign via biocompósitos poliméricos: Envelhecimento, análise estrutural e reciclagem. **MIX Sustentável, [S.l.], v. 5, n. 1, p. 35-42, mar-jun. 2019.** ISSN 24473073. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: dia mês. ano. doi:<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2019.v5.n1.35-42>.

**DATA DE ENVIO:** 27/07/2018

**DATA DE ACEITE:** 08/11/2018

---

# PRODUÇÃO E USO DE DEQUES MODULARES DE BAMBU E MADEIRA

*PRODUCTION AND USE OF BAMBOO AND WOOD MODULAR DECKS*

---

**FABIANO OSTAPIV, Dr.** | UTFPR

**CELSO SALAMON, Dr.** | UTFPR

## RESUMO

Este trabalho mostra a produção manual de ripas de bambu a partir de colmos de *Dendrocalamus asper*, usando ferramentas e procedimentos simples. As ripas de bambu foram produzidas por faqueamento e usadas, junto com ripas comerciais de madeira de araucária, para construir deques modulares quadrados de 40 por 40 cm. Estes deques podem ser utilizados de modos diferentes para montar móveis, portas, janelas, paredes, divisórias, forros e pisos. Foi feita a análise de tempos e movimentos produtivos para a produção de 40 deques modulares de bambu e madeira. Para a produção dos lotes foram usadas 160 ripas de bambu extraídas da base dos colmos de bambu e outras 160 ripas retiradas da região do meio dos colmos. Verificou-se que o tempo para a produção manual de ripas de bambu da região da base do colmo é em média, 27% maior que o tempo para obtenção de ripas da região do meio do colmo. Por fim, foi feita uma sugestão de um arranjo produtivo para a fabricação seriada dos deques modulares de bambu e madeira.

**PALAVRAS CHAVE:** Produtos modulares; Bambu e madeira; Cronoanálise

## ABSTRACT

*This paper shows the manual production of bamboo slats from *Dendrocalamus asper* culms, using simple tools and procedures. Using the slatted bamboo together with commercial slats of araucaria wood, is possible assembly modular and standardized decks of 40 by 40 cm. These decks can be used in several types of products, such as furniture, doors, windows, walls, partitions, ceilings and floors. The chronoanalysis of the production of 40 of these modular decks of bamboo and wood was made. For the production of the lot were used 160 bamboo slats obtained from the base of the bamboo culms and other 160 slats of the medium of the culms. The time to manual produce bamboo slats from the base region of the culm is, on average, 27% higher than to obtaining slats from the middle region. Finally, was made a suggestion to a productive arrangement for the serial manufacture of modular decks of bamboo and wood.*

**KEY WORDS:** Modular products; Bamboo and wood; Chrono analysis



## 1. INTRODUÇÃO

A área de bambu plantada e o uso do bambu no mundo tem crescido ano após ano. No Brasil esta tendência também é percebida. Cada vez mais as pessoas querem usar e construir com bambu. Esta planta têm um enorme potencial como material de engenharia e é particularmente muito útil na construção civil, Ostapiv (2017).

Um dos usos mais comuns do bambu atualmente no Brasil, é a construção de galpões e estufas para o meio rural, Silva et al (2011), alguns exemplos são mostrados nas Figuras 1 e 2.



**Figura 1:** Estufa de *D. asper* e *P. aurea*, modelo CPRA, sendo construída no IAPAR-Pato Branco, (2016).  
**Fonte:** Elaborado pelo autor



**Figura 2:** Estufa de *D. asper* e *Guadua angustifolia* na comunidade Hare Krsna de Goura Vrindavana, Paraty- RJ, (2016).  
**Fonte:** Elaborado pelo autor

A construção com colmos de bambu tem baixo impacto ambiental pois esta planta produz material lignocelulósico com resistência mecânica adequada para muitos usos na construção civil, como mostraram Berndsen et al (2014), Carbonari et al, (2017), e precisa de pouca energia para ser produzida. É uma matéria prima de relativamente baixo custo, de fácil apropriação pela população e com boa disponibilidade no território nacional. Além do que, os bambuzais produzem vários serviços relevantes ao

meio ambiente tais como: proteção do solo, da água e da fauna, contenção de encostas, recuperação de áreas degradadas, entre outros.

Para maior durabilidade das estruturas de bambu, o material precisa ser tratado, e o bambu deve ficar protegido da umidade e da luz solar como indicam, Janssen (1995) e Hidalgo (2003). De um modo geral, as técnicas mais baratas e eficientes tanto para a construção como para a preservação das estruturas e habitações de bambu, são desconhecidas pela maioria da população brasileira. Na Figura 3 é mostrada uma possibilidade de tratamento de colmos, esteiras, ripas e peças prontas de bambu, através da submersão em tanque com solução de sais preservantes como os de boro e de cobre.



**Figura 3:** Estufa de *D. asper* e *Guadua angustifolia* na comunidade Hare Krsna de Goura Vrindavana, Paraty- RJ, (2016).  
**Fonte:** Elaborado pelo autor

O uso do bambu na construção civil, permite reduzir o uso de materiais mais agressivos ao meio ambiente, agregar valor e beleza à edificação arquitetônica, no entanto, exige mão de obra capacitada e especializada. Muitos materiais de bambu usados na construção civil como ripas, tubulações, calhas, colunas e vigas tubulares, entre outros, podem ser produzidas pelo próprio trabalhador no local da obra, desde que haja disponibilidade da matéria prima.

A forma mais simples de processamento de colmos de bambu é manual. Com o uso de técnicas e ferramentas manuais é possível produzir variados produtos de interesse para a arquitetura e construção civil. No entanto, estes produtos processados manualmente apresentam problemas como a grande variabilidade dimensional. Uma das formas de contornar este problema é o desenvolvimento de produtos modulares de bambu e madeira.



**Figura 4:** Trabalhadores montando uma parede de bambu, Paraty – RJ (2016).  
**Fonte:** Elaborado pelo autor

### 1.1. Objetivos do trabalho

- Produzir deques modulares de bambu e madeira, com dimensão de (40 x 40 cm).
- Projetar, produzir e analisar os tempos de fabricação dos deques modulares de bambu e madeira, que podem ser utilizados na construção de uma variedade grande de produtos tais como: paredes, pisos, tetos, móveis, portas, janelas, escadas, etc.
- Projetar e construir uma parede de 4 por 2,8 metros, composto por 70 elementos modulares, para mostrar algumas possibilidades de montagem.
- Projetar e construir móveis simples do tipo banquetas e estantes.
- Fazer a análise do fluxo de processo e a cronoanálise das etapas para levantar os tempos de fabricação de um elemento modular do tipo deque de bambu e madeira.

### 1.2. Justificativa

A cadeia produtiva do bambu no Brasil ainda é incipiente, mas tem um enorme potencial, vem sendo incentivada e tende a crescer cada vez mais.

Projetar e fabricar produtos de bambu de baixo custo ou não, agregados ou não a outros tipos de materiais tais como madeiras, metais e polímeros, mesmo que na forma de protótipos experimentais, é uma maneira efetiva que o pesquisador e a universidade tem de fomentar o desenvolvimento de novos produtos e possíveis arranjos produtivos que podem se disseminar gerando renda e desenvolvimento tecnológico, econômico e social pelo país.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. O uso de colmos de bambu na construção civil

O colmo do bambu é composto de material lignocelulósico e apresenta, de um modo geral, propriedades e características físicas e químicas muito semelhantes a madeira proveniente das árvores, Ostapiv et al (2008). No entanto, diferente das árvores, os colmos de bambu são elementos vegetais tubulares e seu uso na construção civil ou na indústria, traz vários desafios tecnológicos a serem superados, tais como: tratamentos, processamentos e uniões dos mesmos.

Na Figura 5 é mostrado um experimento onde a união entre os colmos cilíndricos de *Bambusa tuldooides* foi feita com embalagens reutilizadas de PET (polietileno tereftalato). Os colmos foram revestidos com pedaços cilíndricos de garrafas PET que foram então termoformadas, formando um painel que pode ser usado de diversas maneiras na construção civil de baixo custo.



**Figura 5:** Parede de colmos de bambu tuldooides unidos com embalagens PET termoformadas, UTFPR-PB (2015).  
**Fonte:** Elaborado pelo autor

### 2.1. O uso de ripas de bambu

Já o uso de elementos processados gerados a partir dos colmos de bambu, tais como ripas, lâminas, lascas, cavacos e pós, trazem novos tipos de desafios, especialmente no processamento dos colmos de bambu, como mostrou Salamon (2009). Destes elementos processados, a ripa de bambu é seguramente o elemento mais simples de ser obtido e também de ser usado, tanto na lógica artesanal como na semi industrial. A partir das ripas é possível a produção de uma variedade de produtos industrializados de alto valor agregado como tábuas, vigas, pisos, painéis laminados, entre outros, Ostapiv, (2007 e 2011).

Neste trabalho foi analisado a produção de ripas de bambu, através do processamento manual mais simples

possível dos colmos. Estas ripas produzidas foram então usadas na construção de deques modulares básicos de bambu e madeira, como o mostrado na Figura 6.



**Figura 6:** Deque modular de bambu ripado e madeira.  
**Fonte:** Elaborado pelo autor

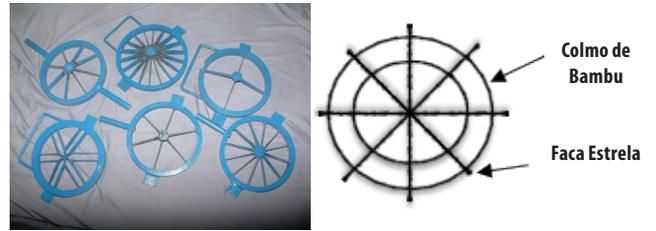
### 2.3. Processamento

O fluxograma de produção, as atividades produtivas e os tempos de processamento são informações importantes, pois além de comporem parte fundamental do custo final do produto, servem para o planejamento produtivo, como argumentam Silva e Coimbra (1980).

Existem várias possibilidades para a produção manual das ripas de bambu. Basicamente um pedaço de um colmo de bambu é cortado longitudinalmente usando algum tipo de ferramenta cortante como facão, mostrado na Figura 6, ou uma faca múltipla chamada faca estrela, mostrada na Figura 7, ou ainda usando equipamentos como a serra circular.



**Figura 7:** Corte de colmo de bambu ao meio com facão e macete.  
**Fonte:** Elaborado pelo autor



**Figura 8:** Conjunto de facas estrela, esquema de corte com 8 lâminas e demonstração do uso da ferramenta.

**Fonte:** Elaborado pelo autor

O uso de facas estrelas, comparativamente ao facão, reduz o tempo para produção das ripas de bambu e diminui a variabilidade da largura das tábuas produzidas. Neste trabalho, no entanto, foi usado apenas o facão, para mostrar que é possível a praticamente qualquer trabalhador produzir ripas de bambu de maneira simples e acessível.

### 2.4. Tempos de produção

A cronometragem e a padronização dos tempos e métodos já eram estudadas por Taylor no início da produção industrial seriada, no modelo chamado de Fordismo. Como explica Barnes (1977), os tempos de produção são dados fundamentais tanto para a composição do custo final de produtos seriados bem como para análise e melhoria do processo de produção destes produtos. Estas técnicas de análise produtiva são muito úteis e permanecem válidas na busca da racionalização dos tempos e movimentos produtivos, permitindo o treinamento de trabalhadores em arranjos mais adequados e eficientes. Na análise dos movimentos repetitivos, são incorporadas considerações sobre a fadiga, o ritmo e a influência do meio externo sobre o trabalhador. Atualmente muitos locais de trabalho filmam o trabalhador no posto de trabalho para então analisar os tempos e movimentos que o trabalhador realiza.

## 3. METODOLOGIA E MATERIAIS

Para estudo e produção dos deques modulares de bambu e madeira, foram usados colmos maduros da espécie *Dendrocalamus asper*. Não foram adotados pré tratamentos nos colmos colhidos.

Na floresta de bambu foram feitas as seguintes etapas: identificação visual dos colmos maduros; colheita dos colmos; limpeza dos galhos dos colmos; corte dos colmos com 3,5m de comprimento para transporte usando moto serra elétrica.

O processamento dos colmos para obtenção das ripas de bambu, foi feito de forma manual, as etapas produtivas são mostradas na Tabela 01. Foram fabricadas aproximadamente 640 ripas de bambu ou 80 lotes.

Foi feita a cronoanálise da produção de 320 ripas produzidas a partir de 40 peças de colmos de bambu e então foram calculados os tempos produtivos padrão para a obtenção das ripas de bambu. Foram usadas 20 peças da região da base e 20 da região do meio dos colmos de bambu. No trabalho de processamento das ripas e na produção dos módulos de bambu e madeira, foram considerados: ritmo e esforço normais e um trabalhador com habilidade normal.

O lote de colmos usados neste estudo já estava desgalhado, esta atividade e outras atividades prévias feitas no bambuzal não foram analisadas. Os colmos foram divididos em região da base e região do meio e destas regiões foram extraídas peças com comprimento de 2m cada, ou seja, no total foram usados 10 colmos para realizar este ensaio produtivo.

Os quadros de madeira usados como base para a fixação das ripas de bambu foram feitos de ripas de Araucaria angustifolia com seção de (2,5 x 5 cm). As etapas e tempos de construção dos quadros de madeira são mostradas na Tabela 02.

Foram usados parafusos auto atarrachantes de 4,5mm de diâmetro, 5cm de comprimento e cabeça chata, usados para fixar o quadro de madeira da base e pregos para fixar as ripas de bambu. Todas as ripas de bambu foram furadas antes de serem pregadas, para evitar fendilhamento longitudinal. As etapas e tempos de montagem final dos módulos de bambu e madeira são mostradas na Tabela 03.

Os elementos modulares de bambu produzidos foram então aparafusados entre si, para formar diferentes tipos de produtos como móveis Figuras 9 e 10 ou paredes, Figuras 10 e 11.

#### 4. RESULTADOS E APLICAÇÕES

Fade et al, (2008) argumentam que o deque modular de madeira e bambu é um elemento padronizado e intercambiável, assim como um tijolo ou uma peça de um jogo de montar, podendo ser usado em diversos tipos de arranjos construtivos. Nas Figuras 9, 10 e 11 são mostrados exemplos do uso destes deques.



**Figura 9:** Móveis usando módulos de um e dois volumes.  
**Fonte:** Elaborado pelo autor.



**Figura 10:** Painel com elementos modulares de bambu e madeira.  
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Na produção dos painéis da Figura 10 foram usados 70 elementos modulares e aproximadamente 560 ripas de bambu. O tempo total para a produção destes elementos modulares foi de 43,4h e para montagem final do painel 16h totalizando 59,4h de trabalho.



**Figura 11:** Elementos modulares nas paredes e portas de uma garagem  
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

O processo produtivo dos módulos de bambu e madeira são mostrados nas Tabelas 1, 2, 3 e 4 de forma sequencial. Cada atividade produtiva teve seu tempo padrão cronometrado e os resultados aparecem nas mesmas tabelas.

Foram encontradas diferenças significativas no tempo padrão para a produção de ripas da região da base em relação ao meio dos colmos de *Dendrocalamus asper*, mostrados nas Tabelas 1 e 2. A produção de ripas a partir de peças da base do colmo são mais difíceis de serem produzidas pois exigem maior esforço de corte devido a maior espessura da parede do bambu nesta região. Assim os tempos produtivos padrão são maiores em relação as ripas produzidas a partir da região central dos colmos.

Outra questão importante a ser considerada é o teor de umidade (t.u.) dos colmos a serem processados. Colmos verdes são mais fáceis de serem cortados ao passo que colmos secos, a aproximadamente 15% de t.u. são mais difíceis, pois exigem maior esforço de corte e desgastam mais as ferramentas, que perdem o fio mais facilmente. Os colmos usados neste trabalho estavam todos secos nas condições ambiente.

A produção dos elementos modulares de bambu e madeira foram feitas de forma semi artesanal, ou seja, foram utilizadas poucas máquinas e o processamento

do bambu foi feito de forma manual. Assim, os tempos padrão são grandes, no entanto, se forem introduzidos novos equipamentos a produtividade aumentará significativamente. Como os tempos produtivos manuais são elevados, o custo da mão de obra também é elevado.

A região da base dos colmos apresenta maior espessura de parede exigindo maiores esforços cortantes e, portanto, maiores tempos de processamento manual, aproximadamente 27% maiores, como mostra a Tabela 2. Além disso, a região da base dos colmos é geralmente mais suja e tem maiores diâmetros que as regiões superiores, o que explica o maior tempo necessário para a limpeza externa destes colmos. É melhor fazer a limpeza antes de cortar o colmo em ripas, pois isto reduz o tempo de limpeza e preserva a região interna do colmo do contato com a água e possíveis contaminantes.

#### 4.1. Cronoanálise

Nas Tabelas 1 e 2 os tempos obtidos são valores médios, com coeficiente de variação abaixo de 28%.

<b>Limpeza e corte longitudinal dos colmos para produção de ripas Etapa 1 - (Região do meio do colmo) DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES</b>	<b>Tempo padrão (s)</b>
1. Selecionar os colmos verificando sua linearidade. Descartar colmos muito tortos.	10,2
2. Limpar a área externa do colmo usando água, detergente, esponja abrasiva e tecido para retirar o excesso de água. (Peça de 2m)	147,2
3. Cortar os colmos em peças de 45 cm de comprimento usando serra manual.	183,3
4. Com um facão e um macete de madeira ou martelo de borracha, dividir o colmo longitudinalmente ao meio. Usar o macete para bater no facão.	55,3
5. Repetir duas vezes a operação, dividindo os dois meio colmos novamente ao meio, produzindo 4 ripas de (1/4) do diâmetro.	23
6. Repetir a operação quatro vezes, dividindo as ripas de 1/4 de colmo novamente ao meio, produzindo 8 ripas de (1/8) do diâmetro.	48,2
7. Com o facão, retirar o diafragma interno (na região do nó) das 8 ripas.	184
8. Com o facão, retirar as rebarbas laterais das 8 ripas produzidas.	147,4
TEMPO PRODUTIVO TOTAL	798,6
TEMPO IMPRODUTIVO TOTAL	224,6
TEMPO PADRÃO	1023,2

**Tabela 1:** Tempos e atividades para a produção de 8 ripas de bambu da região do meio do colmo por faqueamento.

Fonte: Elaborado pelo autor

<b>Limpeza e corte longitudinal dos colmos para produção de ripas Etapa 1 - (Região da base do colmo) DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES</b>	<b>Tempo padrão (s)</b>
1. Selecionar os colmos verificando sua linearidade. Descartar colmos muito tortos.	19,8
2. Limpar a área externa do colmo usando água, detergente, esponja abrasiva e tecido para retirar o excesso de água. (Peça de 2m)	205,3
3. Cortar os colmos em peças de 45 cm de comprimento usando serra manual.	283,5
4. Com um facão e um macete de madeira ou martelo de borracha, dividir o colmo longitudinalmente ao meio. Usar o macete para bater no facão.	100,2
5. Repetir duas vezes a operação, dividindo os dois meio colmos novamente ao meio, produzindo 4 ripas de (1/4) do diâmetro.	59,5
6. Repetir a operação quatro vezes, dividindo as ripas de 1/4 de colmo novamente ao meio, produzindo 8 ripas de (1/8) do diâmetro.	92
7. Com o facão, retirar o diafragma interno (na região do nó) das 8 ripas.	185,6
8. Com o facão, retirar as rebarbas laterais das 8 ripas produzidas.	257,7
TEMPO PRODUTIVO TOTAL	1203,6
TEMPO IMPRODUTIVO TOTAL	212,4
TEMPO PADRÃO	1416

**Tabela 2:** Tempos e atividades para a produção de 8 ripas de bambu da região da base do colmo por faqueamento.

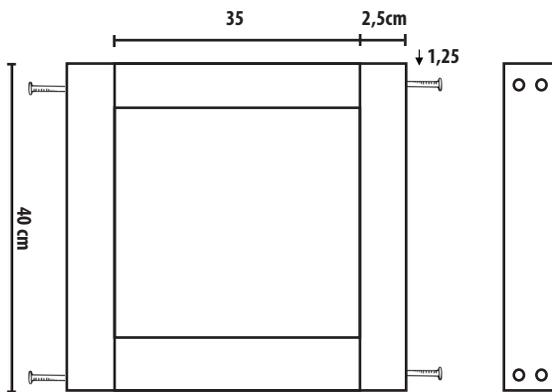
Fonte: Elaborado pelo autor

Nesta etapa são descritas as atividades necessárias para a produção do quadro de madeira do deque, mostrado na Figura 12, na qual serão colocadas as ripas de bambu obtidas na etapa 1.

<b>Produção dos quadros de madeira Etapa 2 - DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES</b>	<b>Tempo padrão (s)</b>
1. Posicionar e cortar lote de 8 peças de madeira com 35 cm de comprimento, em ângulo reto, na serra policorte. Usar ripa inicial de 3m. Esta atividade pode ser feita na madeireira.	19,6 2pç
2. Posicionar e cortar lote de 8 peças de madeira com 40 cm de comprimento, em ângulo reto. Usar ripa inicial de 3,5m. Esta atividade também pode ser feita na madeireira.	20,8 2pç
3. Posicionar lote com 8 ripas de 40 cm no gabarito para furação. É necessário usar um gabarito, caso contrário este tempo aumenta muito.	14,2 2pç
4. Marcar os linhas de centro dos furos devem ficar a 1,25 cm das extremidades das ripas.	41

5. Posicionar e fazer 4 furos de diâmetro 4,5mm, dois em cada extremidade das ripas de 40cm conforme figura 11.	94,2 2pç
6. Pré-montar o quadro com uma peça de 40 sobre duas de 35 cm fixadas verticalmente no gabarito, conforme figura.	35,3
7. Parafusar o conjunto, usar 2 parafusos em cada extremidade..	105
8. Retirar o conjunto do gabarito, inverter, posicionar outra peça de 40 cm para fechar o conjunto. Parafusar, verificando o esquadro. Figura 11	112,6
TEMPO PRODUTIVO TOTAL	442,7
TEMPO IMPRODUTIVO TOTAL	190,3
TEMPO PADRÃO	633

**Tabela 3:** Tempos e atividades para a produção de 8 ripas de bambu da região da base do colmo por faqueament.  
**Fonte:** Elaborado pelo autor



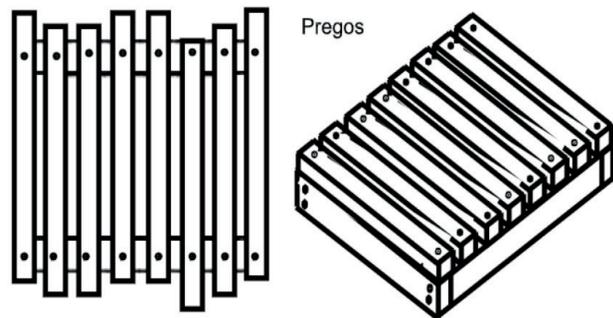
**Figura 12:** Quadro de madeira do deque modular.  
**Fonte:** Elaborado pelo autor

Na etapa 3 o tempo foi dividido por 4 pois um pedaço de colmo de 2m é dividido em 4 peças e uma peça destas é suficiente para a produção de 8 ripas que compõe um deque modular.

Produção dos elementos modulares de bambu/madeira Etapa 3 - DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES	Tempo padrão (s)
1. Com a base de madeira montada, colocar as ripas de bambu distribuindo-as de maneira uniforme, verificando posição dos nós.	26,8
2. Fixar as ripas de bambu com acessórios para fazer a furação.	35,5
3. Fazer um furo em cada extremidade das ripas de bambu para serem pregadas. Pode ser usado um prego sem cabeça como broca.	108,8

4. Mantendo as ripas posicionadas, pregar as ripas de bambu no quadro de madeira da Figura 12.	84,4
5. Cortar o excesso de material das ripas de bambu que ultrapassem os limites do as bordas do módulo, usando serra manual. Figura 13.	133,5
TEMPO PRODUTIVO TOTAL	389
TEMPO IMPRODUTIVO TOTAL	187,1
TEMPO PADRÃO	576,1

**Tabela 4:** Tempos e atividades para montagem dos módulos de bambu/madeira.  
**Fonte:** Elaborado pelo autor



**Figura 13:** Quadro com sobre material a ser cortado e deque modular finalizado  
**Fonte:** Elaborado pelo autor

Elemento modular bambu/ madeira	Região do meio do colmo	Região da base do colmo
Tempo padrão total	37,2 min	43,7 min
Tempos produtivos total	27,2 min	33,9 min
Tempos improdutivo total	10 min	9,8 min

**Tabela 5:** Tempos padrão total para montagem dos deques modulares de bambu e madeira  
**Fonte:** Elaborado pelo autor

Os tempos improdutivo envolvem várias atividades como: preparação do local de trabalho, transporte e posicionamento de materiais, ferramentas, gabaritos, instrumentos de medida, limpeza do local de trabalho, ajuste de máquinas, afiação de ferramentas, etc.

#### 4.2 Proposta de arranjo produtivo

Os tempos padrão obtidos na produção dos módulos de bambu e madeira, de maneira quase que artesanal, podem ser reduzidos significativamente caso seja feito simplesmente uma organização produtiva mais adequada como a proposta na Figura 14. Um arranjo produtivo racionalizado permite reduzir os tempos improdutivo. Outras melhorias podem ser indicadas como o uso de máquinas de corte tipo serra circular e gabaritos que permitam a redução dos tempos produtivos

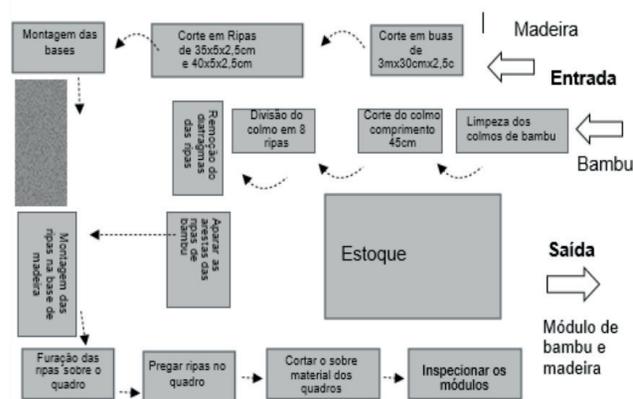


Figura 14: Fluxograma e arranjo produtivo para produção de elementos modulares de bambu e madeira. Fonte: Elaborado pelo autor

O fluxograma indica uma sequência lógica para a produção dos elementos modulares de bambu e madeira, que permitiria a produção destes elementos de forma seriada.

## REFERÊNCIAS

BARNES, R. M.; “**Estudo de movimentos e de tempos – Projeto e medida do trabalho**”. Ed. Blucher, 1ª ed, SP, 1977.

BERNSEN, R.S.; KLITZKE, R.J.; BATISTA, D.C.; NASCIMENTO, E.M.; OSTAPIV, F.; “**Mechanical resistance of moso bamboo (Phyllostachys pubescens) Part 2: axial tensile strength, hardness and wear resistance**” FLORESTA, v.44, nº3, p. 505 – 514, jul./set. 2014 – Curitiba PR.

CARBONARI, G.; SILVA Jr, N. M.; PEDROSA, N.H.; ABE, C.H.; SCHOLTZ, M.F.; ACOSTA, C.C.V.; CARBONARI, L.T.; “**Bambu – O aço vegetal**” Mix Sustentável, Edição 5, v.3, nº1, Florianópolis, SC, 2017.

FADE, B.C.; OSTAPIV, F. SALAMON, C. “**Bambu como alternativa ao uso da madeira na produção de decks para a construção civil – estudo de caso em uma Comunidade caiçara no município de Guaraqueçaba PR**”. XI EBRAMEM Encontro Brasileiro em Madeira e Estruturas de Madeira, Londrina –julho 2008.

HIDALGO, L.O.; “**Bamboo – The gift of the gods**” D’vinni Ltda, Bogota - Colombia, 2003.

JANSSEN, J.; “**Building with bamboo. A handbook**”. Warwickshire: ITDG Publishing, 1995.

OSTAPIV, F.; “**Análise e melhoria do processo produtivo de tábuas de bambu (Phyllostachys pubescens) com foco em pisos**”. 111f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

OSTAPIV, F.; SALAMON, C.; GONÇALVES, M.T.T.; “**Estrutura da Madeira de Bambu mossô (Phyllostachys pubescens) e seus usos industriais - perspectivas para o mercado brasileiro**”. XI Encontro Brasileiro de Madeiras e Estruturas em Madeira - EBRAMEM, Londrina, PR, julho 2008.

OSTAPIV, F.; “**Resistência mecânica do material composto: madeira de eucalipto-lâmina de bambu**”. 148f. Tese de Doutorado. Guaratinguetá: Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, 2011.

OSTAPIV, F.; “**Produção e uso de materiais compostos bambu-PET na construção civil popular**” Capítulo de: Bambus no Brasil, da Biologia à Tecnologia. 1ª ed. ICH-Instituto Ciência Hoje, pág. 494 a 510, RJ, 2017.

SALAMON, C.; “**Ensaio para viabilizar a laminação do bambu Dendrocalamus giganteus em operações de torneamento sem centros**”. 113 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2009.

SILVA, J.C.B.V.; LIMA, N.; OLIVEIRA, V.M.; “**Estufa ecológica. Uso do bambu em bioconstruções**”. Manual Referências Agroecológicas. CPRA, 32p – Curitiba, 2011.

SILVA, A.V.; COIMBRA, R.R.C.; “**Manual de tempos e métodos**”. São Paulo: Hemus, 1980.

## AUTORES

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5397-1968>

**FABIANO OSTAPIV, Dr.** | Universidade Tecnológica Federal do Paraná | Engenharia Mecânica | Pato Branco, PR | Correspondência para: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco., Rua Via do Conhecimento, Fraron, Pato Branco - PR, 85503390 | E-mail: [fabianoosapiv@utfpr.edu.br](mailto:fabianoosapiv@utfpr.edu.br)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9958-6491>

**CELSO SALAMON, Dr.** | Universidade Tecnológica Federal do Paraná | Engenharia Mecânica | Curitiba, PR | Correspondência para: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Damec, Avenida Sete de Setembro, 3165, Rebouças, Curitiba - PR, 80230-901 | E-mail: [salamon@utfpr.edu.br](mailto:salamon@utfpr.edu.br)

## COMO CITAR ESTE ARTIGO

OSTAPIV, Fabiano; SALAMON, Celso. Produção e uso de deques modulares de bambu e madeira. **MIX Sustentável, [S.l.], v. 5, n. 1, p. 43-51, mar-jun. 2019.** ISSN 24473073. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: dia mês. ano. doi:<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2019.v5.n1.43-51>.

**DATA DE ENVIO:** 15/05/2018

**DATA DE ACEITE:** 31/07/2018

---



# INVESTIGAÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE LEVEZA E RESISTÊNCIA DAS FIBRAS DE AGAVE PARA MATERIAL DE IMPRESSÃO 3D BIOINSPIRADO

*RESEARCH OF LIGHT STRATEGIES AND RESISTANT OF AGAVE FIBERS FOR BIO-INSPIRED 3D PRINT MATERIAL*

**AMILTON JOSÉ VIEIRA DE ARRUDA, PhD.** | UFPE  
**EMÍLIA CRISTINA PEREIRA ARRUDA, Dra.** | UFPE  
**RODRIGO BARBOSA DE ARAÚJO, MSc.** | UFPE

## RESUMO

Matérias-primas são fundamentais para fabricação de artefatos diversos. Porém, a crescente demanda por recursos naturais finitos para extrair matérias-primas contribui significativamente para a degradação ambiental. A substituição de materiais sintéticos por produtos naturais vêm ganhando espaço, como por exemplo, fibras lignocelulósicas. Dentre as fibras vegetais mais utilizadas, as de Agave sisalana são uma alternativa de extremo valor por apresentar excelentes propriedades mecânicas. Através de uma abordagem metodológica multidisciplinar em biomimética no campo do design de materiais e biologia, tem-se o objetivo de emular as estratégias da natureza complexa e multifuncional dos sistemas biológicos no desenvolvimento de materiais bioinspirados, sobretudo no contexto da fabricação digital. O desenvolvimento de novos biomateriais disponibilizados a partir da combinação de matérias-primas renováveis e biodegradáveis deve-se principalmente à hierarquia estrutural dos elementos que o constituem. Neste sentido, esta pesquisa adentra na investigação das propriedades mecânicas dos elementos que constituem as paredes celulares das fibras de sisal, para o desenvolvimento de um novo material bioinspirado nas estratégias de leveza e resistência do agave, direcionado à fabricação digital de artefatos sustentáveis.

**PALAVRAS CHAVE:** Biomimética; Design de Material; Agave; Fabricação Digital.

## ABSTRACT

Raw materials are essential for the manufacture of various artifacts. However, the increasing demand for finite natural resources to extract raw materials contributes significantly to environmental degradation. The replacement of synthetic materials from natural products have been gaining space, such as lignocellulosic fibers. Among the most used vegetable fibers, those of Agave sisalana are an extremely valuable alternative because they have excellent mechanical properties. Through a multidisciplinary methodological approach in biomimetics in the field of materials design and biology, we aim to emulate the strategies of the complex and multifunctional nature of biological systems in the development of bio-inspired materials, especially in the context of digital manufacturing. The development of new biomaterials available from the combination of biodegradable and renewable raw materials is mainly due to the structural hierarchy of the elements that constitute. In this sense, this search investigate of the mechanical properties of elements that constitute the cell walls of sisal fibers, for the development of a new bio-inspired material in agave's lightness and resistance strategies, directed to the digital manufacture of sustainable artifacts.

**KEY WORDS:** Biomimicry; Material Design; Agave; Digital Fabrication.



## 1. INTRODUÇÃO

A observação sistemática da natureza para aprender a resolver problemas técnicos tem sido algo que tem caracterizado a história da humanidade. No século XXI, as possibilidades são dadas pelas mais recentes tecnologias, ou seja, sistemas de produção e desenvolvimento de novos materiais.

Segundo Oxman (2010) a cultura de design moderno está passando por uma mudança para o design consciente do material. Inspirado nas estratégias da natureza, onde a geração da forma é impulsionada pelo desempenho máximo com recursos mínimos através da programação das propriedades do material. A autora propõe e desenvolve modelos e processos para uma abordagem baseada nos materiais e na geração de formas habilitadas computacionalmente. Este aprendizado pode ser emulado através de tecnologias emergentes, como a fabricação digital. A aplicação de tecnologias digitais tem grande relevância para a área de projeto, principalmente quando alinhadas aos princípios de sistemas biológicos. Nas últimas décadas, as pesquisas bioinspiradas para resolução de problemas, têm focado no desenvolvimento de métodos e ferramentas para o uso sistemático e aplicação de informações dos elementos naturais. Dentro deste contexto, cientistas estão se permitindo usar a natureza como modelo para emular as técnicas de soluções da natureza.

De acordo com Kapsali (2016), o papel dos materiais no contexto de princípios biomiméticos pode revelar novas oportunidades de design. Segundo a autora, os materiais na natureza são limitados, porém bastante eficientes: existem basicamente dois grupos principais de polímeros - proteínas e polissacarídeos - que formam os blocos de construção de todos os sistemas biológicos e fornecem a multiplicidade de propriedades e funções necessárias para sustentar a vida. Deste modo, surge uma abordagem engenhosa do design em biologia para compensar a restrição da variedade de matérias-primas. A natureza complexa e multifuncional dos sistemas biológicos deve-se principalmente à hierarquia estrutural (sólidos compostos de elementos estruturais compostos por elementos estruturais menores e assim por diante), em que o material e sua estrutura é montado, ao invés de propriedades decorrentes da química.

Confiamos nas propriedades inerentes de um material para introduzir força, elasticidade e assim por diante em um produto. Se precisarmos melhorar a resistência de uma ponte, fabricamos aço mais forte ou usamos mais material. Contudo, se revisarmos o design, poderíamos não utilizar o mesmo material em maior quantidade, mas

sim, utilizar alternativas bioinspiradas com otimização em matéria e energia. Hoje, existem mais de 300 tipos de polímeros comerciais usados para fabricar nossos produtos, muitos dos quais derivam de recursos naturais cada vez mais esgotados, exigindo grandes quantidades de energia e processos tóxicos para produzi-los, que ao final da vida útil acabam em aterros sanitários (KAPSALI, 2016).

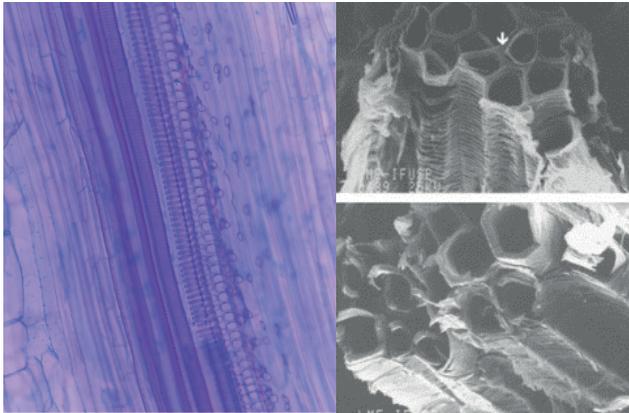
Materiais fortes como metal, plásticos reforçados e polímeros super-resistentes são componentes essenciais em nossos ambientes construídos. Contamos com a força desses materiais para manter as coisas, mas a natureza nos mostra que podemos construir estruturas fortes a partir de materiais fracos. A natureza nos mostra como comportamentos complexos e avançados podem emergir de uma abordagem hierárquica para o design. O princípio biomimético da maximização de recursos demonstra como uma estrutura forte pode emergir de materiais fracos.

Por outro lado, o desenvolvimento econômico baseado em tecnologias industriais mais limpas têm se tornado práticas que a sociedade começou a discutir nos últimos anos. Questões relacionadas à variável ambiental resulta em um modelo de desenvolvimento econômico baseado em inovações tecnológicas mais limpas que contribuam para uma maior integração com o meio ambiente, utilizando formas mais eficientes de matéria-prima e energia. Compósitos biodegradáveis e de fontes renováveis tem tido destaque, devido a constante busca de materiais que substituam total ou parcialmente os polímeros derivados do petróleo. Neste aspecto, o desenvolvimento de novos biomateriais ou biocompósitos ocorre a partir da combinação de matérias-primas renováveis e biodegradáveis, proporcionando a redução de resíduos tóxicos.

Conforme Carneiro (2017), não somente por questões ambientais, mas também por razões técnicas e econômicas, as fibras vegetais vêm ganhando espaço na indústria. Sendo utilizadas, em larga escala, na substituição de compostos reforçados por fibra sintética. Essas mudanças ocorreram em função das fibras serem naturais, biodegradáveis, recicláveis e de baixo custo, com larga aplicação na indústria automotiva, indústria de tapeçaria e o setor da construção civil, por exemplo. Muitas fibras lignocelulósicas vêm ganhando espaço, dentre elas, destacando-se a de sisal, proveniente da planta agave, produzida no Nordeste do Brasil, que apresenta vantagens técnicas, econômicas e ambientais. Constituindo-se, também, em excelente matéria-prima para a obtenção de celulose. Dentre as fontes de celulose, a fibra de sisal (*Agave sisalana* Perr), pode apresentar até 75% de celulose em sua composição. O sisal é uma alternativa de extremo valor, devido, principalmente,

as suas excelentes propriedades mecânicas. Destaca-se, portanto, que as fibras de sisal apresentam comportamento mecânico semelhante às fibras sintéticas, com relação à força de tração (CARNEIRO, 2017).

Em estudos realizados por Araújo (2015), verifica-se que a planta Agave apresenta estratégias biológicas de leveza e resistência. Com a utilização de técnicas de microscopia pode-se enxergar a organização estrutural da disposição das células lignocelulósicas presentes no tecido vegetal de agave (figura 01).



**Figura 01** – A orientação das fibras depositadas paralelamente é um dos fatores significativos para as propriedades mecânicas da planta. Esta organização estrutural resulta em uma maior resistência à tração. Imagem à esquerda: microscopia ótica, ampliação em 200  $\mu\text{m}$ . Imagens à direita: micrografia (SEM), ampliação em 10  $\mu\text{m}$ .  
**Fontes:** Imagem à esquerda: autores, (2015). Imagem à direita: Martins *et al.*, (2004).

Ainda segundo o autor a estrutura das paredes celulares do tecido vegetal do Agave, apresentam as estratégias necessárias para funções de leveza e resistência com otimização de matéria e energia. Dentre outros fatores, a deposição de lignina (polímero natural estrutural responsável pela rigidez das células vegetais) ocorre em quantidades mínimas para que proporcione à planta sustentação e resistência mecânica com economia de peso, mantendo assim, a leveza e resistência necessária com economia de matéria e energia. Estas propriedades aplicadas no desenvolvimento de uma estrutura genérica bioinspirada pode ser direcionada à uma gama de artefatos que requerem estruturas leves e resistentes. Este processo foi guiado através de uma abordagem metodológica em biomimética, denominada *Biomimicry Thinking*, desenvolvida pelo Instituto de Biomimética 3.8, levando-se em consideração princípios de sustentabilidade presentes no meio natural.

O estudo realizado por Araújo (2015) teve como objetivo desenvolver uma estrutura biomimética inspirada na configuração das paredes celulares lignocelulósicas de agave. Para emulação das estratégias biológicas em

artefatos materializados, processos de modelagem digital, design paramétrico e impressão 3D (figura 02), permitiu o alinhamento aos princípios de crescimento e desenvolvimento de modelos biológicos, que depositam matéria prima e energia fazendo uso do princípio da maximização de recursos.



**Figura 02** – Impressão 3D como exemplo de aplicação de uma estrutura bioinspirada nas estratégias de leveza e resistência do agave. Estrutura que pode ser emulada em uma ampla gama de artefatos (ARAÚJO, 2015).  
**Fonte:** Autores, (2015).

Um estudo mais aprofundado das propriedades mecânicas das fibras de agave/sisal, emulados um material bioinspirado para fabricação digital permitirá um maior estreitamento aos princípios da vida e inovação em sustentabilidade. O desenvolvimento de um material biodegradável, que seja constituído com elementos reconhecíveis pelo meio ambiente é um próximo passo para aplicação dos ensinamentos da natureza ao mundo material humano.

Este artigo apresenta uma investigação dos materiais que compõem as paredes celulares das fibras de agave/sisal para entender quais elementos são responsáveis pelas propriedades mecânicas. Estas propriedades serão emuladas no desenvolvimento do design de um material bioinspirado para impressão 3D. Este material deve se adequar aos processos naturais de reciclagem do meio ambiente através de condições de biodegradação e atender às exigências mecânicas com maximização de matéria prima e energia (baixo acúmulo de matéria seca), que seja biodegradável e se reintegração ao meio natural ao final da vida útil. Este material em desenvolvimento possibilitará a materialização de artefatos digitais impressos.

## 2. DESIGN DE MATERIAIS - PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

Vivemos em um mundo de materiais. Materiais são a matéria-prima do design, que através da história, ditaram as

oportunidades e os limites do design. São os materiais que dão substância a tudo que vemos e tocamos. Nossa espécie *Homo sapiens* - é diferente das outras talvez mais significativamente pela habilidade de projetar, produzir “coisas” a partir de materiais, e pela capacidade de enxergar um pouco mais além com o desenvolvimento de novos materiais. Novos desenvolvimentos em materiais e processos são fontes de inspiração para designers de produto porque sugerem novas soluções técnicas, visuais, táteis, esculturais e espaciais para o produto (ASHBY & JOHNSON, 2011).

Em relação aos aspectos para seleção dos materiais no design de produtos, Ashby & Johnson (2011) organizam os diferentes tipos de materiais através de famílias, classes, etc. Assim como, Lima (2006), que organiza os materiais através da classificação e propriedades dos materiais. As propriedades são estruturadas através das características físicas, mecânicas, térmicas, ópticas, de processamento, ecológicas, etc. Na seleção dos materiais, devem-se atender os requisitos exigidos para um produto em todo o seu ciclo de vida, o que envolve sua transformação, seu funcionamento, sua comercialização, seu uso (manipulação e manutenção) e finalmente o desuso.

Deste modo, confiamos nas propriedades inerentes de um material para introduzir força, elasticidade e assim por diante em um produto. Se precisarmos melhorar a resistência de uma ponte, fabricamos aço mais forte ou usamos mais material. Porém, nossa dependência das propriedades do material para funcionalidade resulta em produtos multimaterial que, entre outras coisas, desestimulam a desmontagem, a reciclagem e a decomposição. Hoje, existem mais de 300 tipos de polímeros comerciais usados para fabricar produtos, muitos dos quais derivam de recursos naturais cada vez mais esgotados, exigindo grandes quantidades de energia e processos tóxicos para produzir, e acabam em aterros sanitários (KAPSALI, 2016).

Estes são exemplos, segundo a literatura, que podem nortear o estabelecimento dos requisitos para o design de um novo material ou produto, levando-se em consideração a seleção dos elementos que o compõem o material, determinando suas especificações e propriedades. Os aspectos podem ser distribuídos em requisitos, como: funcionamento; uso; otimização em matéria e energia; fabricação/comercialização; normas e legislação; ecologia, etc.

Já os materiais para fabricação digital estão condicionados aos atributos e processamento da matéria-prima, onde se devem levar em consideração as propriedades dos materiais, requeridas para um devido fim. Lima (2006) afirma que é importante saber a maneira como um

material se comporta sob a ação de esforços mecânicos, intempéries, seu peso, densidade, aparência, desempenho térmico, tendo as propriedades definidas pela microestrutura e organização dos elementos que o constitui, assim como ocorre na natureza e na organização das células e dos elementos que as compõem.

É oportuno lembrar que até hoje a forma como os átomos são organizados na configuração de algum material desenvolvido pela engenharia, estamos limitados ao que a tecnologia impõe ao homem. Em um futuro não tão distante com avanços significativos da nanotecnologia será possível projetar moléculas que funcionarão de acordo com necessidades e desempenhos desejados, ou seja, terão propriedades específicas. Assim como, os materiais bioinspirados em propriedades emuladas pelas estratégias da natureza (ARAÚJO, 2015).

Deste modo, pode-se verificar uma forte relação com a forma de estudo e aplicação dos conceitos da biomimética no desenvolvimento do design de um novo material bioinspirado. A escolha e determinação de suas propriedades, podem se basear em uma gama de elementos naturais e sintéticos similares no mercado, e disponíveis à interferência humana. Porém, levando-se em consideração os fatores ecológicos, esta busca pode ocorrer através da bioinspiração em elementos naturais, como o Agave, que apresenta em sua anatomia celular, propriedades de leveza e resistência, que convertidas em tecnologia e incorporando os Princípios da Vida (*BIOMIMICRY 3.8*, 2015), contribuem para uma maior aproximação com o meio natural (ARAÚJO, 2015).

Neste sentido o papel dos materiais no contexto de princípios biomiméticos pode revelar novas oportunidades de design. Segundo Kapsali (2016), os materiais na natureza são limitados: existem basicamente dois grupos principais de polímeros - proteínas e polissacarídeos - que formam os blocos de construção de todos os sistemas biológicos e fornecem a multiplicidade de propriedades e funções necessárias para sustentar a vida. Uma abordagem engenhosa do design em biologia surgiu para compensar a restrição da variedade de matérias-primas: a natureza complexa e multifuncional dos sistemas biológicos deve-se principalmente à hierarquia estrutural (sólidos compostos de elementos estruturais compostos por elementos estruturais menores e assim por diante), em que o material é montado, ao invés de se obter propriedades decorrentes da química. E deste modo, a natureza nos mostra como comportamentos complexos e avançados podem emergir de uma abordagem hierárquica para o design com base na biologia.

### 3. BIOMIMÉTICA

No passar dos séculos, vários foram os povos que se inspiraram na natureza para resolver problemas, desta forma foram aprimorando este conhecimento. Encontra-se na literatura, inspiração na natureza e referências à biônica, entre muitos autores conhecidos, como: Werner Nachtigall, fomentador e criador de princípios da Biônica; Victor Papanek também cita em sua obra "Design for the Real World" (1971) e aborda a biônica como meio de projeto, Bruno Munari em "Das coisas nascem coisas" (1981), dentre outros (QUEIROZ, RATTES E ARAÚJO 2015).

Muitos pesquisadores no século XX passaram a ver a natureza como uma grande solucionadora de problemas. Sendo a bioinspiração uma valiosa arma para melhorar o desempenho de uma gama de artefatos concebidos pelo homem. Dentro deste contexto, mais especificamente a partir de 1958, a inspiração na natureza torna-se uma ciência através do termo Biônica. No passar dos anos, ao serem assimiladas as discussões contemporâneas, como sustentabilidade e complexidade no projeto, surgem outros termos como Biomimetismo, Bioinspiração e Biodesign. Sendo hoje o mais difundido, a Biomimética.

De acordo com Freitas e Arruda (2017), em 1969 o engenheiro Otto Schmitt apresenta a definição do termo Biomimética em um artigo com o mesmo título, tendo publicado oficialmente o termo no dicionário de Webster em 1974: "Trata do estudo da formação, estrutura ou função de substâncias e materiais biologicamente produzidos (como as enzimas ou a seda), e mecanismos e processos biológicos (como a sintetização de proteínas ou de fotossíntese) especialmente para os propósitos de sintetização de produtos similares por mecanismos artificiais que mimetizam os naturais".

Benyus (2003) foi quem expandiu o conceito criando o termo Biomimética. Em seu ponto de vista, além de considerar a mimetização da forma biológica, o Biomimetismo inclui a inspiração nos conceitos de replicação do comportamento dos organismos biológicos. É uma forma de projetar que se baseia nas formas e estruturas da natureza. Segundo a autora, a natureza oferece infinitos exemplos de como revolucionar os produtos, processos e a nossa vida cotidiana na busca de soluções sustentáveis, inspirando-se em modelos da natureza que se desenvolveram e foram adaptando estratégias pelo tempo a milhões de anos.

A ideia central é que a natureza, pela necessidade de adaptação, já resolveu muitos dos problemas com que nos deparamos no dia a dia: energia, estruturas leves,

produção de alimentos, controle de temperatura, processos químicos limpos, transporte, embalagem, e mais uma gama de possibilidades.

Ossos, dentes e conchas marinhas podem ser considerados exemplos de materiais complexos desenvolvidos pela natureza e seu principal parceiro, o tempo. Como resultado de muitíssimos anos de evolução, materiais como esses apresentam propriedades de grande interesse para o ser humano, mas o desenvolvimento de rotas artificiais de fabricação para chegar a essas propriedades vem colocando grandes desafios aos cientistas (STUDART, 2012).

Perante esta perspectiva, vários pesquisadores, designers e projetistas têm buscado na natureza, princípios e soluções como aplicação de um design sustentável. A biomimética é um instrumento que se baseia na natureza devido ao fato de sistemas biológicos existentes terem conseguido sobreviver, ao longo de milhares de anos através da adaptação às condições do meio ambiente predominante, utilizando os recursos da natureza de uma forma surpreendentemente eficiente. O designer, então, pode e deve se apropriar desses princípios para se lançar à criação de produtos e materiais mais inteligentes, inovadores e com menor impacto sobre o meio ambiente.

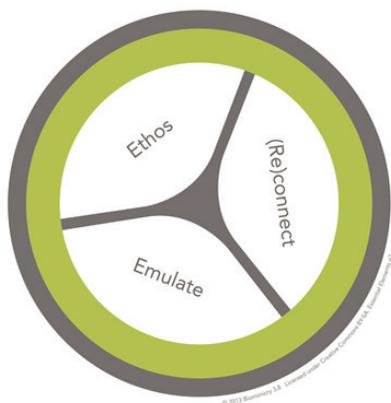
Para Freitas e Arruda (2017), uma forma de realizar o estudo do funcionamento dos sistemas físicos e mecânicos naturais pode se dar através de um processo de analogia. Sendo a Analogia Funcional um meio de tentar compreender quais funções os modelos naturais desempenham tanto no todo, quanto em suas partes e componentes. Em outras palavras são evidenciados os atributos funcionais, qualidades específicas que podem ser mimetizadas a partir da estrutura natural analisada, uma vez que os organismos naturais desenvolveram habilidades complexas e altamente adaptáveis, a ideia é mimetizar essas aptidões funcionais e aplicá-las em artefatos artificiais.

De acordo com Oxman (2015), inspirado pela natureza, surgiu recentemente uma nova abordagem de design chamada ecologia material que visa estabelecer uma relação mais profunda entre o objeto de design e seu ambiente. A chave para essa abordagem é a percepção de que o ambiente e o objeto de design interagem através de múltiplas dimensões e um espectro de variáveis ambientais. A ecologia material visa preencher esta lacuna aumentando a dimensionalidade do espaço de design através do design de materiais multifuncionais e fabricação digital. Ao fazê-lo, surge uma visão holística do design que considera a computação, a fabricação e o próprio material como dimensões inseparáveis do design, o que resulta em objetos ecológicos desde o início.

### 3.1. Biomimicry Design Lens (lentes do design biomimético)

Esta pesquisa está apoiada em uma abordagem metodológica projetual na área da biomimética desenvolvida pela autora Janine Benyus e sua equipe de colaboradores do *Biomimicry Institute 3.8*, desenvolvida e aperfeiçoada desde 1998. Intitulada *Biomimicry DesignLens*, sua representação se dá através de diagramas que exploram três componentes principais para a prática de projeto em design biomimético, são eles: Elementos Essenciais; Princípios da Vida; e *Biomimicry Thinking*.

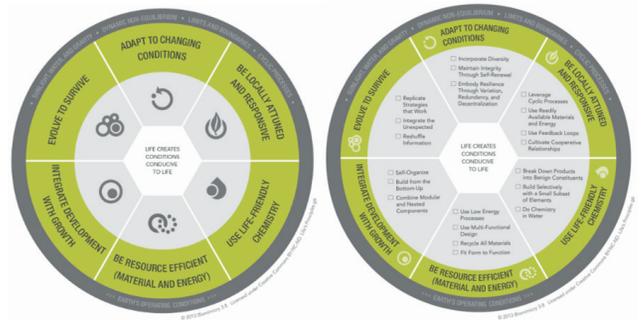
O processo inicia em um estado de empatia com o meio natural ao ter em mente a importância dos Elementos Essenciais – que são três elementos interconectados para a prática de projeto inspirado pela natureza (BIOMIMICRY INSTITUTE 3.8, 2015).



**Figura 03** – Elementos Essenciais - *Biomimicry DesignLens*.  
 Fonte: *Biomimicry Institute 3.8*, (2015).

Ethos representa respeito, responsabilidade e gratidão da espécie humana pelo planeta; (Re) Conexão indica que nós somos parte da natureza, pessoas e natureza estão na verdade profundamente entrelaçadas. Nesta perspectiva, existe uma reconexão do humano com o meio natural; O elemento Emular representa os princípios, padrões, estratégias e funções encontradas na natureza que podem inspirar o design. A emulação representa um sentimento que instiga a imitar ou a exceder outrem, de forma estimulante e cooperativa.

O segundo componente desta abordagem são os Princípios da Vida, que segundo o *Biomimicry Institute 3.8* (2015) são ensinamentos e estratégias que a natureza traz em termos de design e ideais aspiracionais para projeto com parâmetros sustentáveis que foram aprendidos e aperfeiçoados ao longo de 3.8 bilhões de anos pela natureza. Os diagramas apresentam os princípios que fazem com que a vida crie condições propícias à vida. Com seis ensinamentos principais podem-se modelar estratégias inovadoras e parâmetros sustentáveis que permitem orientação pela natureza:



**Figura 04** – Diagrama Princípios da Vida - *Biomimicry DesignLens*.  
 Fonte: *Biomimicry Institute 3.8* (2015).

Segundo o diagrama, a natureza evoluiu para sobreviver, desenvolvendo estratégias de gerenciamento de informações, datando estratégias, identificando abordagens de sucesso e erro anteriores, integrando soluções alternativas para problemas similares e evoluindo tais abordagens criando novas soluções.

Para adaptar-se às condições de mudanças, a natureza apresenta ações e comportamentos que permitem resiliência, redundância e descentralização do sistema. Desprendimento de energia e adição de matéria o mínimo necessário. Incorporação da diversidade fazendo uso de processos, funções e formas que provêm um melhor funcionamento. Segundo este preceito, a forma deve seguir o desempenho pretendido.

O meio natural é atento e responsivo às questões locais, utilizando materiais locais e energia de fácil acesso, cultivando processos de cooperação mútua onde todos ganham e tirando proveito de fenômenos locais que se repetem (clima, ciclos, etc.). Incluindo o fluxo de informações em processos cíclicos, nunca lineares.

Ao ser eficiente em materiais e energia, a natureza integra múltiplas e complexas necessidades em soluções elegantes evitando desperdício. Minimiza o consumo energético buscando fontes renováveis e gerenciando o uso de materiais em ciclo, ou seja, planejando o ciclo de vida conforme estações e períodos de sazonalidades. A química presente na natureza ocorre de modo amigável à vida usando poucos elementos de uma forma elegante, evitando produtos tóxicos e usando água como solvente.

Deste modo, ao integrar conhecimento e crescimento, a vida combina elementos modulares e sistemas que evoluem do simples para o complexo. Assim, pode-se compreender o funcionamento do todo e também dos pequenos componentes e sistemas que a compõem, pois a natureza cria condições para que os componentes interajam com possibilidade de crescimento e auto-organização.

### 3.2. Biomimicry Thinking

Enquanto método ou ferramenta, é uma estrutura que auxilia a prática de projetos bioinspirados. Se encaixa no processo de qualquer disciplina ou em qualquer escala de design. As etapas possibilitam tomadas de decisões e fornecem o contexto para onde seguir, como e o porquê das ações, decisões e feedback das etapas. Inclui quatro áreas que fornecem os valores para o processo: Escopo, Descobrendo, Criando e Avaliando. A abordagem não é rígida, e pode-se percorrer o diagrama *Biomimicry Thinking* de dois modos. Ambos os casos apresentam caráter cíclico de abordagem, e considera-se que os melhores resultados surgem com o uso do diagrama múltiplas vezes em um processo iterativo, resultando em aprimoramento do projeto (BIOMIMICRY INSTITUTE 3.8, 2015).

A primeira possibilidade de abordagem é denominada *Challenge to Biology* (Desafio à Biologia), onde se percorre as etapas em sequência e sentido horário. O processo se inicia à partir da definição de uma problemática e se busca possíveis soluções em estratégias de elementos naturais as quais se tenha algum conhecimento prévio, ou seja, quando se tem um problema específico e se está buscando ideias biológicas para a solução.

Uma outra possibilidade, denominado *Biology to Design* (Biologia para Design) (figura 05), ocorre quando a abordagem do diagrama segue de forma mais aleatória de acordo com a necessidade do projeto, ou quando o processo se configura à partir de uma inspiração biológica e se busca dar um direcionamento para desenvolvimento de algum projeto ou artefato bioinspirados. O uso deste diagrama auxilia o processo de criação para inventores, empreendedores e estudantes que não tem seu próprio processo de projeto, mas que estimulam processos criativos através de analogias, facilitando o caminho para inovação.

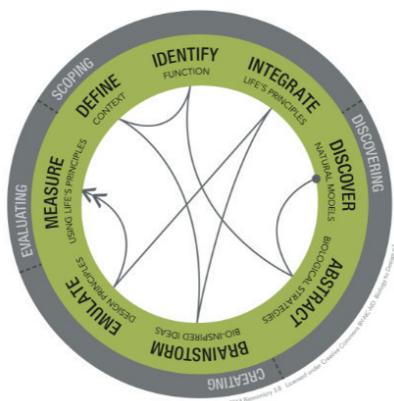


Figura 05 – Diagrama Biomimicry Thinking - Biology to Design  
Fonte: Biomimicry Institute 3.8, (2015).

O diagrama é composto por quatro campos principais: 1. Escopo: dividido em três etapas, onde se define o contexto do problema, identificação das funções necessárias ao projeto e integração dos princípios da vida; 2. Descobrendo: dividido em duas etapas, descobrindo um modelo natural e abstração das estratégias biológicas; 3. Criando: subdivido em duas etapas, brainstorm para ideias bioinspiradas e emulação dos princípios da vida; e 4. Avaliando: onde se avalia o projeto usando como medida, os princípios da vida. O processo atinge melhores resultados quando em processos iterativos

Desta forma, nesta pesquisa, os diagramas *Biomimicry Thinking* possibilitam a condução do processo de pesquisa e projeto, tanto para obtenção e organização de *inputs* gerados à partir da investigação das propriedades mecânicas do Agave, como em paralelo, auxilia o processo de analogia e abstração das estratégias biológicas para o design de materiais bioinspirados. Além disso, possibilita também, a emulação das estratégias de leveza e resistência das fibras de agave, no design de um material bioinspirado para fabricação digital fazendo uso de tecnologias existentes, como as impressoras 3D. Os *outputs* gerados apresentam potencial de inovação em sustentabilidade na área do design biomimético de materiais e estruturas biologicamente inspirados.

A abordagem para desenvolvimento desta pesquisa se dá através da modalidade *Biology to Design*. Iniciando o processo na fase de descobrimento do modelo natural, nesta pesquisa o agave, onde se tinha um conhecimento prévio das estratégias de leveza e resistência, como pode ser verificado em Araújo (2015). Assim como, o potencial comercial para aplicação de suas fibras na indústria, devido apresentar altos coeficientes de rigidez e elasticidade, segundo a literatura especializada (CARNEIRO, 2017).

O segundo momento desta pesquisa está alocada na fase de abstração das estratégias biológicas, buscando uma área de aplicação para as estratégias do agave. Na sequência ocorre a identificação das funções necessárias para o projeto, posteriormente definindo o escopo do contexto da pesquisa (pode ser entendido como uma fase de definição da problemática). A próxima etapa convém criar ideias bioinspiradas para emulação em estruturas leves, resistentes e com otimização em matéria e energia, com foco no design de um material para impressoras 3D. Em seguida ocorre a incorporação dos princípios da vida do *Biomimicry DesignLens*, que são princípios sustentáveis, realizando uma reintegração do campo do design e fabricação digital com o meio natural. A fase emular representa os princípios, padrões, estratégias e funções

encontradas na natureza que podem inspirar o design. A última etapa está relacionada com materialização e prototipação das ideias para testes em artefatos digitais e ensaios mecânicos. A validação ocorre com a verificação ao atendimento dos princípios da vida elencados no processo no início do projeto/pesquisa. Ciclos iterativos de replicação do processo, implica em melhores resultados.

#### 4. AGAVE

O Brasil é o maior produtor mundial de Agave (ou Sisal), sendo responsável por cerca de 70% do mercado mundial de fibras duras. O nome científico da espécie mais comercializada é *Agave sisalana*, comum da região Nordeste do Brasil, onde é explorado apenas como fonte de fibra dura (sisal). Segundo a Conab (Companhia Nacional de Abastecimento - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento), a conjuntura mensal de setembro de 2018, apresenta dados representativos sobre a produção e comercialização do sisal. Em 2015 foi estimada uma produção de aproximadamente 92 mil toneladas e em 2016 chegou-se a uma produção estimada de 88 mil toneladas.

O cultivo é direcionado para a produção e confecção de cordas através da utilização das fibras de suas folhas. Os produtos obtidos mais exportados são na forma de fibras, fios, cabos, cordas, cordéis e tapetes, onde 70% da produção de sisal são direcionados à exportação. É amplamente aplicado em materiais compósitos na substituição de fibras sintéticas. O Agave também é utilizado para confeccionar artigos de artesanato e o pseudocaulo da planta é usada na cobertura de casas e na construção de cercas, assim como, na produção de produtos de nicho de mercado, como pranchas de surf, porém não possui valor comercial comparável à fibra da folha. Dentre muitas outras opções de utilização desta planta que apresenta propriedades de leveza e resistência, está a fabricação de blocos para pranchas de surf, devido à presença de tecidos vegetais composto por fibras lignocelulósicas, as quais estão presentes tanto nas folhas como no escapo floral do agave (ARAÚJO, 2015).

Agave é uma planta monocotiledônea da família Agavaceae (NETO, 2012, apud JUDD et al., 2007; GUTIÉRREZ et al., 2008). Dentre diferentes gêneros destaca-se *Agave* com 300 espécies distribuídas e cultivadas em regiões tropicais das Américas, principalmente em ambientes áridos e semiáridos. Porém praticamente todo o Sisal (nome vulgar) cultivado mundialmente possui, possivelmente, a mesma constituição genética, pois provém de plantas com estreita variação genética devido a utilização de bulbilhos como estratégia principal de propagação. (GONDIM, 2009, apud

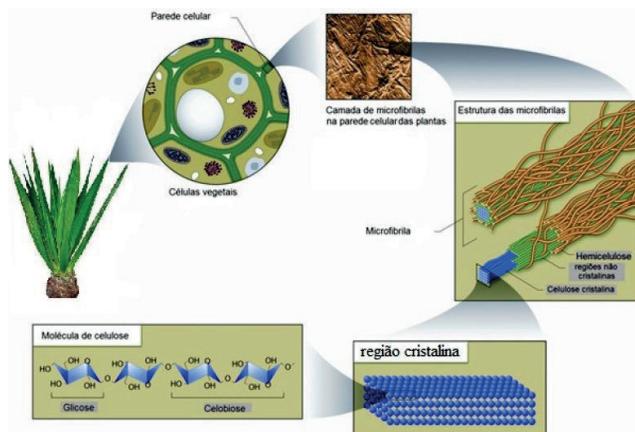
SALGADO et al., 1979). Conforme Silva et al. (2008), o sistema radicular típico das monocotiledôneas é fasciculado, fibroso e em forma de tufo. É acaulescente, e no lugar do caule há um pseudocaulo suculento e com uma espessa camada de lignina, onde as folhas e o broto terminal se inserem e armazenam água e nutrientes.

Segundo Carneiro (2017) a espécie *Agave sisalana* se adaptou de forma favorável à região Semiárida do Nordeste brasileiro, apresentando melhor crescimento e desenvolvimento se cultivada em solo areno-argiloso com baixos índices de fertilidade. Necessitando de sol pleno e disponibilidade de água moderada para seu crescimento. Devido ao estresse ambiental por falta de água, a acumulação de matéria seca é reduzida, consequentemente a planta economiza mais água, conferindo adaptação à seca.

A planta apresenta ciclo de vida que pode variar de 7 a 10 anos, de acordo com o *Invasive Species Specialist Group - ISSG* (Banco de Dados Global de Espécies Invasivas) (2019). Quanto ao processo de reprodução do escapo floral, Silva et al. (2008) descreve que quando a planta está a ponto de florescer, surgem pequenas folhas que são estreitas e pontiagudas e estão localizadas ao redor do ápice do pendão. Quando ocorre a inflorescência, o ápice do caule se transforma em um pedúnculo floral que pode atingir de seis a oito metros de altura. Aparecem escamas parecidas com folhas, então emitem entre vinte e quarenta ramos que, por sua vez, originam grupos de flores de cor branca ou ligeiramente esverdeadas. Cada ramo produz em torno de quarenta flores e, por se tratar de uma planta monocárpica, ela floresce uma só vez durante o ciclo vegetativo, morrendo posteriormente. Após a queda das flores, desenvolvem-se sobre a panícula novas plantas chamadas "bulbilhos" com seis e dez centímetros, e seis a oito folhas com pequenas raízes adventícias que caem da planta, atuando como estratégia de propagação de novas plantas.

##### 4.1. Anatomia Vegetal - Propriedades Químicas e Mecânicas da Fibra de Agave

Do ponto de vista anatômico, as fibras do sisal são fibras estruturais cuja função é dar sustentação e rigidez às folhas. Deste modo, quando comparadas às demais fibras naturais, as de Sisal apresentam resistência superior, além de possuir boa durabilidade (SAPUAN, 2006). As fibras de agave podem atingir até aproximadamente um metro de comprimento. São constituídas de fibrilas ou fibras elementares que tem de 1,5 mm a 4,0 mm de comprimento e sua parede celular apresenta várias camadas, que diferem uma das outras em relação à sua estrutura e composição química (CARNEIRO, 2017).



**Figura 06** – Representação da estrutura e composição química da parede celular dos vegetais. **Fonte:** CARNEIRO, (2017).

Como as fibras provêm das folhas, e também estão presentes no pseudocaule da planta, sua constituição química é basicamente formada pelos mesmos compostos presentes nas folhas, tendo em sua composição química celulose, hemicelulose, lignina, pectina e ceras (ARAÚJO, 2015, ANSELL e MWAIKAMBO, 2002; MEGGIATO JR., 2007; MARTIN et al., 2009)

Carneiro (2017) apresenta estudos de diversos autores que estimaram a porcentagem dos elementos que compõem a fibra do sisal. Sendo apontado que as fibras pode conter de 65,8% a 73% de celulose, de 12% a 13% de hemicelulose, 9,9% a 11% de lignina e de 0,8% a 2% de pectina (CARNEIRO, 2017, apud. MEDINA, 1954; ANSELL E MWAIKAMBO, 2002).

Segundo Holanda (2013) as fibras de sisal por possuírem uma composição química lignocelulósica, influencia a resistência da fibra. Neste sentido, a lignina que é um polímero complexo e de estrutura amorfa que proporciona resistência aos tecidos vegetais, assim como o enrijecimento da parede celular e a proteção das fibras contra danos químicos e físicos. Carneiro (2017, apud. Agarwal e Broutman, 1999) afirmam que a lignina influencia a estrutura, as propriedades, a morfologia e a flexibilidade das fibras lignocelulósicas. Já a celulose é o polímero que confere às fibras vegetais excelentes propriedades de resistência à ruptura e alongamento.

Deste modo, a composição química lignocelulósica interfere diretamente na resistência da fibra. Em estudos realizados por Carneiro (2017), verificou-se que as fibras mais finas são compostas de fibrilas relativamente menores, o que resulta em comportamento mecânico superior. Por outro lado, à medida que o diâmetro da fibra aumenta, ocorre uma redução da resistência à tração e do módulo de elasticidade.

Dentre os elementos mais relevantes para a fibra, destaca-se o cálcio por ser um componente estrutural da parede celular, haja vista que a resistência da parede é estabelecida por sua composição, com base em teores de celulose, hemicelulose e lignina, presentes na composição da parede primária e secundária das plantas. Alguns autores relatam que o P e K devem ser considerados componentes nutricionais de grande relevância quando se considera a resistência da fibra vegetal, tendo em vista que o fósforo tende a aumentar o comprimento da fibra e o potássio a quantidade de celulose. Incrementos nestes elementos são importantes para imprimir maior resistência à fibra, refletindo em melhorias no comprimento, uniformidade de comprimento e finura desta (CARNEIRO, 2017, apud. AQUINO et al., 2012a; AQUINO et al., 2012b; ROSOLEM e WITACKER, 2007; SANTOS et al., 2012; CARVALHO, 2007).

Os compósitos reforçados com fibras de sisal se destacam por apresentarem alta resistência ao impacto, e boas propriedades de resistência à tração e flexão. Isto é atribuído ao fato da fibra de sisal apresentar um dos maiores valores de módulo de elasticidade e de resistência mecânica entre as fibras naturais (MARTIN, 2009). De acordo com Carneiro (2017), o baixo módulo de elasticidade das fibras de sisal se dá ao fato de existirem de forças intermoleculares entre as cadeias de celulose.

Carneiro (2017) apresenta estudos comparativos feitos com fibras vegetais e fibras poliméricas, incluindo o sisal e outras fibras naturais, e fibras de polipropileno (PP). Os trabalhos realizados demonstraram que as fibras de sisal apresentam maior módulo de elasticidade, consequentemente maior rigidez que fibras vegetais como coco e bagaço de cana, assim como fibras de polipropileno, estando esta rigidez possivelmente associada ao teor de lignina presente nas fibras de sisal. A resistência à ruptura e alongamento também está relacionado devido às forças intermoleculares entre as cadeias de celulose.

Neste sentido, autores afirmam que as fibras de sisal (agave) podem substituir a fibra de vidro empregada como reforço aos compósitos poliméricos na fabricação de peças, produzidas por variados processos de fabricação, como moldagem por injeção, laminação, moldagem por transferência de resina, dentre outras utilidades. Ademais, podem ser alternativas como material substituto para as vigas de ferro, usadas no lugar de concreto em países como o Japão, que enfrentam problemas de tremores de terra de alta intensidade, pela sua alta resistência mecânica e leveza. (CARNEIRO, 2017, apud. AGOPYAN, 2005; ERENO, 2007).

Desta forma, a investigação das propriedades químicas e mecânicas das fibras de agave apresentam potencialidades para emulação de um material bioinspirado em estratégias de leveza e resistência, e condições de biodegradação para ser usado como insumo para impressoras 3D.

## 5. FABRICAÇÃO DIGITAL

Conforme Seely (2004), a fabricação digital é empregada para processos de projeto e produção que utilizam desenhos assistidos por computador (Computer Aided Design - CAD), associados com manufatura auxiliada por computador (Computer Aided Manufacturing — CAM).

Estas tecnologias correspondem a programas computacionais que permitem desde um simples controle vetorial até a programação e manipulação paramétrica de modelos virtuais. Abrangem também processos com máquinas que podem construir fisicamente modelos através de camadas ou planos geométricos usando materiais específicos (BARROS, 2011).

Ainda segundo o autor, ao abordar impressoras e impressão 3D, os processos de produção de artefatos físicos utilizando modelos virtuais podem ser classificados conforme a sua finalidade, conforme o número de eixos que operam ou de acordo com a maneira como produzem os objetos. O meio de emprego para produzir, testar e avaliar um modelo pode ser definido como prototipagem rápida (BARROS, 2011).

Conforme Ashby & Johnson (2011), a prototipagem rápida se dá através de sistemas aditivos, onde ocorre a solidificação ou deposição da matéria prima em camadas, podendo realizar formas tridimensionais complexas. Desta forma são produzidos modelos físicos e artefatos com materiais diversos naturais e sintéticos. Barros (2011) descreve a impressão tridimensional da seguinte forma:

É um processo baseado na tecnologia das impressoras a jato de tinta. Ele consiste em depositar o material (geralmente, polímeros termoplásticos) através dos cabeçotes de impressão sobre uma área de trabalho que pode movimentar-se conforme necessário. Além disso, pode compor artefatos físicos coloridos e nas tecnologias mais avançadas, mesclar diferentes tipos de materiais. (BARROS, 2011).

Através destes processos podem ser impressas formas complexas sólidas ou ocas. O insumo para a impressoras tridimensionais é um arquivo CAD que descreve a forma da peça; o resultado é um único exemplar da peça feito em polímero, por exemplo. Mas existem outros materiais para impressão que são biodegradáveis sob condições específicas de biodegradação, como por exemplo o

PLA (poliácido láctico), e mais recentemente, filamentos de um compósito de madeira e resina (figura 07). Como descrito por Ashby & Johnson (2011), na modelagem por deposição de material fundido, um fio corrente de termoplástico é depositado por um cabeçote de extrusão biaxial aquecido. O material é extrudado do cabeçote aquecido e depositado em camadas, ocorrendo desta forma uma fusão térmica, aonde o material irá se solidificar posteriormente.



Figura 07 – Estrutura bioinspirada impressa em 3D com filamento de madeira.  
Fonte: lillianvandaal.com, (2017).

A seguir, apresentamos alguns processos de fabricação digital do tipo aditivo, onde os artefatos vão se materializando através da formação de camadas seriadas de material, ocorrendo assim, a deposição/sinterização/polimerização do material de insumo apenas o mínimo necessário na utilização de impressoras 3D.

### 5.1. Principais tipos de impressoras 3D - técnicas de fabricação digital aditivas

Estes processos descritos neste tópico são tecnologias que possivelmente podem se beneficiar com o desenvolvimento de materiais bioinspirados como insumo para impressão, que sejam adaptáveis ao tipo de processo de impressão específico de cada impressora. Levando em consideração a economia de matéria e energia através da aplicação de materiais mais leves e resistentes.

De acordo com Celani (2008) as técnicas de fabricação digital podem ser classificadas em três categorias: aditivas, subtrativas e formativas.

Este tópico adentra apenas em alguns processos aditivos. As técnicas subtrativas atuam com perda considerável de matéria prima, fator que vai contra os princípios da vida de crescimento e desenvolvimento dos modelos naturais, elencados pelo *Biomimicry Institute 3.8*. As técnicas aditivas produzem objetos por meio da deposição sucessiva de camadas de material com baixos índices de perda

em relação aos processos subtrativos. Existem diversos processos de fabricação aditiva, como as impressoras a pó (3DP), modelagem por deposição de Material Fundido (FDM), e sinterização seletiva a laser (SLS), dentre outros.

#### 5.1.1. 3DP - impressão 3D

A impressora possui um rolo que deposita e compacta finas camadas de pó sucessivamente. Sobre cada camada um cabeçote imprime seções do objeto a ser produzido com jatos de um líquido aglutinante, que pode ser incolor ou colorido. As seções vão se aglutinando umas sobre as outras, desde a base até o topo do objeto. As impressoras 3D permitem peças coloridas e diferentes materiais podem ser utilizados. Após o término da impressão, a peça é retirada da máquina e o excesso de pó é eliminado com um jato de ar comprimido. Existe ainda, meios de recuperação do restante do pó que não foi aglutinado. A peça impressa precisa ser coberta por uma resina para adquirir maior resistência.

#### 5.1.2. FDM - modelagem por deposição de material fundido

Modelagem por deposição de material fundido, no geral termoplásticos (acrilonitrila butadieno estireno ABS, policarbonato PP, poliéster PS, poliestireno tereftalato PET, poliácido láctico PLA, etc.), que depois de aquecido e derretido é depositado camada a camada, formando o objeto. Essa técnica utiliza também plásticos pouco resistentes como material de suporte nas áreas em que a geometria do objeto o exige. Após a impressão o material de suporte é retirado.

#### 5.1.3. SLS - Sinterização Seletiva a Laser

Semelhante à técnica 3DP, porém com a utilização a partir de polímeros em pó que se fundem quando expostos a um feixe de laser. O laser desenha sobre a superfície de cada camada a seção correspondente do objeto, fundindo-a a camada inferior.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A biomimética se mostra como uma das áreas de projeto que ainda trará grandes impactos positivos na vida das pessoas e do meio ambiente no geral. Existe na natureza uma grande quantidade de materiais que podem servir como fonte de inspiração, com funções e propriedades específicas que possuem grande potencial de serem traduzidas para a tecnologia, e aplicadas as suas estratégias como conceitos em projetos de design e em muitas outras áreas, no meio natural pode estar a solução para muitos problemas humanos (BLUCHEL, 2009).

Um grande problema com a impressão 3D em sua forma atual, é que muitas das impressoras contam com materiais de construção tóxicos, em uma crescente variedade de polímeros (plásticos), resinas e pós metálicos. Os materiais usados na impressão em 3D deveriam ser seguros para qualquer pessoa, mas liberam gases tóxicos quando aquecidos, dentre outros fatores. Deveriam ser provenientes de matérias-primas locais, e no final de suas vidas, deveriam ser "inutilizáveis" em materiais reutilizáveis, ou se tornarem biodegradáveis segundo a pesquisadora Janine Benyus.

A diferença com a natureza está gradualmente se fechando. Os pesquisadores estão usando microscópios eletrônicos e de força atômica, microtomografia e computadores de alta velocidade para olhar cada vez mais na microescala e em nanoescala os segredos da natureza, e uma crescente variedade de materiais avançados para imitá-los com mais precisão do que nunca.

Atualmente existem impressoras digitais que atuam por processos de adição. Com a tecnologia já existente, pode-se focar no desenvolvimento de um novo material bioinspirado, que poderá ser uma alternativa positiva para impressão de artefatos bioinspirados leves, resistentes e biodegradáveis, reduzindo os impactos ao meio ambiente. Se por um lado temos uma limitação para exploração de diferentes tipos de materiais e processos, por outro, temos a necessidade de intensa criatividade para obtenção de diferentes resultados com as tecnologias já disponíveis.

Quando as estratégias de modelos naturais são incorporados aos processos de fabricação digital, estas se apresentam como grande potencial de inovação em sustentabilidade, o que faz com se pense em aplicações para diversos setores e artefatos. Vale salientar que se trata de uma pesquisa em andamento, e neste caso adentra na investigação e definição das principais propriedades mecânicas presentes nas fibras de agave para desenvolvimento de um material mais adequado aos princípios da vida propostos pelo *Biomimicry Institute* 3.8.

Neste sentido, deixa margem para possivelmente se desenvolver o design de um material compósito bioinspirado nos elementos presentes nas paredes das fibras de agave que contém porções de celulose, lignina, proteínas, cálcio, alguns tipos de ceras naturais, dentre outros componentes. Este conhecimento permite entender a função de cada elemento e a relação entre eles de forma hierárquica, adentrando em níveis de complexidade de forma sistemática e analítica com realização de experimentos em anatomia vegetal e manipulação de materiais.

O envolvimento multidisciplinar de áreas diversas é uma característica da abordagem metodológica em biomimética. Esta pesquisa envolve design biomimético, biologia, química, engenharia de materiais e fabricação digital, para que se consiga atingir objetivos concretos. E antes mesmo da biomimética amadurecer em uma indústria comercial, tem-se desenvolvido como uma nova e poderosa ferramenta para a compreensão da vida.

## REFERÊNCIAS

ASHBY, Michael F.; JOHNSON, Kara. **Materiais e Design: Arte e Ciências da Seleção de Materiais do Design do Produto**. 2. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2011.

ARAÚJO, R.B. **Biomimética e artefatos para ambientes aquáticos – estratégias de leveza e resistência inspiradas na estrutura celular do agave**. Dissertação de mestrado. PPGD - Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2015.

BARROS, A. M. **Fabricação Digital: sistematização metodológica para o desenvolvimento de artefatos com ênfase em sustentabilidade ambiental**. Dissertação de mestrado. PPGD – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

BENYUS, Janine M. **Biomimética: Inovação inspirada pela natureza**. Ed. Pensamento-Cultrix, 2003.

BIOMIMICRY 3.8. **Biomimicry Institute 3.8**. Disponível em: <<http://biomimicry.net/>>. Acessado em 15 nov. 2015.

BLÜCHEL, Kurt G. **Biônica: como podemos usar a engenharia da natureza a nosso favor**. 1 ed. São Paulo: PHL, 2009.

CELANI, G., PUPO, R. T. **Prototipagem rápida e fabricação digital para arquitetura e construção: Definições e estado da arte no Brasil**. Cadernos de pós-graduação em arquitetura e urbanismo – Unicamp. Campinas, 2008.

CARNEIRO, J. L. S. **Caracterização de acessos de sisal usando descritores da planta e da fibra**. Programa de pós-graduação em recursos genéticos vegetais - Universidade Estadual de Feira de Santana - BA 2017.

CONAB - **Companhia Nacional de Abastecimento**. Conjuntura Mensal. 2018. Acesso em: 11/2018 Disponível

em:[https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-fibras/item/download/22582\\_c625a2e446783a366275711d8d78f08d](https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-fibras/item/download/22582_c625a2e446783a366275711d8d78f08d)

GONDIM, T. M. S.; SOUZA, L. C. **Caracterização de Frutos e Sementes de Sisal** - Circular técnica 127 - Embrapa, Campina Grande, 2009.

FREITAS, T., ARRUDA, A. **Novas estratégias da biomimética: as analogias no biodesign e na bioarquitetura**. Mix Sustentável. Florianópolis. v.4 - n.1 - p.73-82 – março, 2018.

HOLANDA, E. B. N. **Morfologia e propriedades mecânicas da fibra de sisal unidirecional e em sobreposição de compósito com resina epóxi**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2013.

ISSG. **Global Invasive Species Database** (2019) Species profile: Agave sisalana. Downloaded from <http://www.iucngisd.org/gisd/speciesname/Agave+sisalana> on 22-01-2019.

KAPSALI, V. **Biomimetics for Designers - Applying Nature's Processes & Materials in the Real World**. Ed. James & Hudson, London, 2016.

MARTIN, A. R., MARTINS, M. A., MATTOSO, L. H. C., SILVA, O. R. R. F. **Caracterização química e estrutural de fibra de sisal da variedade Agave sisalana** - Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 19, nº 1, p. 40-46, 2009 SP

MWAIKAMBO, L. Y., & ANSELL, M. P. (2002). **Chemical modification of hemp, sisal, jute, and kapok fibers by alkalization**. Journal of Applied Polymer Science, 84(12), 2222-2234. <https://doi.org/10.1002/app.10460>  
NETO, L. C. I., MARTINS, F. M. **Anatomia dos órgãos vegetativos de Agave sisalana Perrine ex EN-GELM (Agavaceae)**. Revista Caatinga. 2012.

OXMAN, Neri. **Material-based design computation**. Thesis (Ph.D.)-Massachusetts Institute of Technology, Dept. of Architecture, 2010.

OXMAN, Neri; ORTIZ, Christine; GRAMAZIO, Fabio; KOHLER, Matthias. **Computer-Aided Design**. Elsevier, Volume 60, 2015.

QUEIROZ, N., RATTES, R., ARAÚJO, R. **Biônica e Biomimética no Contexto da Complexidade e Sustentabilidade em Projeto. In: Design Contexto: ensaios sobre design, cultura e tecnologia** - Design & Complexidade. Org. Amilton Jose Vieira de Arruda. Vol. 1. Cap.7. p.127-144. Ed. Universitária: Recife – PE, 2015.

SAPUAN, S.M.; et al. **Mechanical properties of woven banana fiber reinforced epoxy composites.** Mat. Des., v. 27, pag. 689-693, 2006.

SEELY, Jennifer C. K. **Digital fabrication in the architectural design process.** Dissertação (Master of Science in Architecture Studies) - Massachusetts Institute of Technology, Dept. of Architecture, Massachusetts. 2004.

SILVA, O. R. R. F., et al. **Cultivo do Sisal no Nordeste Brasileiro,** Circular Técnica n. 123, Embrapa, Campina Grande, PB, 2008.

## AUTORES

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4551-4497>

**AMILTON JOSÉ VIEIRA DE ARRUDA, PhD.** | Universidade Federal de Pernambuco | Programa de Pós-graduação em Design | Recife, PERNAMBUCO (PE) - Brasil | Correspondência para: R. General Aduauto Gomes Barbosa, 94 Apt 302 - Várzea, Recife - PE, 50741-280 | E-mail: [arruda.amilton@gmail.com](mailto:arruda.amilton@gmail.com)

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1422-2486>

**EMÍLIA CRISTINA PEREIRA ARRUDA, Dra.** | Universidade Federal de Pernambuco | Programa de Pós-graduação em Biologia Vegetal | Recife, PE - Brasil | Correspondência para: R. Professor Moraes Rego, s/n - UFPE, Centro de Biociências, Departamento de Botânica - Cidade Universitária, Recife - PE, 50.670-901 | E-mail: [emilia\\_arruda@yahoo.com.br](mailto:emilia_arruda@yahoo.com.br)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5322-0686>

**RODRIGO BARBOSA DE ARAÚJO, MSc.** | Universidade Federal de Pernambuco | Programa de Pós-graduação em Design | Recife, PERNAMBUCO (PE) - Brasil | Correspondência para: R. Golfo de Tailândia, 55 Apt 301 - Intermares, Cabedelo - PB, 58102-092 | E-mail: [rodrigoa82@hotmail.com](mailto:rodrigoa82@hotmail.com)

## COMO CITAR ESTE ARTIGO

ARRUDA, Amilton José Vieira de; ARRUDA, Emília Cristina Pereira; ARAÚJO, Rodrigo Barbosa de. Investigação de estratégias de levaza e resistência das fibras de agave para material de impressão 3D bioinspirado. **MIX Sustentável, [S.l.], v. 5, n. 1, p. 53-65, mar-jun. 2019.** ISSN 24473073. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: dia mês. ano. doi:<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2019.v5.n1.53-65>.

**DATA DE ENVIO:** 01/02/2019

**DATA DE ACEITE:** 20/02/2019



# ESTUDO E ANÁLISE DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DE CORPOS CILÍNDRICOS DE CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO POR LASCAS DE BORRACHA

*STUDY AND ANALYSIS OF RESISTANCE TO COMPRESSION IN CYLINDRICAL CONCRETE SAMPLES WITH PARTIAL REPLACEMENT OF MEDIUM SAND BY RUBBER CHIPS*

**ALEJANDRO SALAZAR GUERRA, MSc. | UNICURITIBA**

**CAIO EDUARDO SAVINO | UNICURITIBA**

**ELORAH REGINA DINIZ ROCHA | UNICURITIBA**

## RESUMO

Esta pesquisa tem como objetivo analisar o comportamento do concreto com substituição parcial do seu agregado miúdo por lascas de borracha, em corpos cilíndricos de concreto. A borracha é proveniente do processo de recapagem de pneus. E será estudada a sua viabilidade técnica dentro de uma construção civil. A partir da revisão bibliográfica e das experiências em laboratório e seguindo as normas técnicas brasileiras. Foram determinadas as curvas granulométricas; da areia fina, da areia média e das lascas de borracha a fim de verificar as características físicas semelhantes do material reutilizável em relação com um dos respectivos agregados, para posterior substituição deste. Em seguida, ainda em laboratório, foi feita a moldagem, cura, retífica e rompimento dos corpos de prova, para análise da resistência à compressão axial do concreto. Analisando os resultados encontrados, observa-se que as propriedades mecânicas do concreto são alteradas, sendo que em pequenas porcentagens possui uma variação pequena. Além de mensurar às propriedades mecânicas deste concreto, esta substituição parcial de agregado miúdo poderá levar à redução dos impactos ambientais gerados pelo setor da construção civil, como por exemplo a diminuição do consumo de agregados miúdos e destinar uma considerável quantidade de borracha de pneus que são descartados incorretamente.

**PALAVRAS CHAVES:** Lascas de borracha; Concreto com borracha; Construção sustentável; Reciclagem de pneu; Concreto sustentável.

## ABSTRACT

*This research aims to analyze the behavior of concrete with partial replacement of medium sand aggregate by rubber chips in cylindrical concrete samples coming from tire retreading and its technical viability in civil construction. From the literature review and the laboratory experiments, following the Brazilian technical norms, the granulometric determination of fine and medium sand and the rubber chips in order to verify the similar characteristics of the reusable material with one of the respective aggregates, for later replacement of this material. Then, still in the laboratory, the molding, curing, rectifies and disruptions were carried out, for the analysis of axial compression resistance of the concrete. Analyzing the results found, it is observed that the mechanical properties of the concrete are altered, and in small percentages it has a small variation. In addition to the changes associated with mechanical properties, such a method may lead to reduction in the environmental impacts generated by the construction sector, for example the reducing of the demand of small aggregates and to allocate a considerable amount of tire rubber that if discarded incorrectly.*

**KEY WORDS:** Rubber stakes; Concrete with rubber; Sustainable building; Tire recycling; Sustainable concrete.



## 1. INTRODUÇÃO

O projeto possui como objetivo analisar as mudanças das características físicas do concreto com a substituição parcial do agregado miúdo por lascas de borracha, visando assim, determinar se este material é tecnicamente compatível com o concreto e se sua utilização trará benefícios a o setor da construção civil.

Tal processo poderá acarretar na redução dos impactos ambientais gerados pelo setor da construção civil, como por exemplo, diminuir o consumo de agregados miúdos e mitigar a quantidade de pneus descartados incorretamente, e que acabam propiciando a propagação de doenças pelo acúmulo de água e proliferação de insetos nesta água estancada.

Para a realização do projeto, primeiramente foi efetuada uma revisão bibliográfica, analisando as principais características dos materiais a serem utilizados e as normas brasileiras para efetuar os procedimentos de ensaio e estudos sobre os temas abordados.

Após a realização da revisão bibliográfica, iniciaram-se os procedimentos experimentais visando a verificação da viabilidade técnica da implantação das lascas de borracha em substituição parcial ao agregado miúdo no concreto, suas vantagens e desvantagens bem como as características apresentadas após moldagem e cura do concreto, e para isso foram realizados ensaios de compressão axial.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O Conselho Internacional da Construção (CIB) aponta a indústria da construção civil como o setor de atividades humanas que mais consome recursos naturais e utiliza energia de forma intensiva, gerando consideráveis impactos ambientais (OLIVEIRA, 2013). Para se ter uma noção de valores, o Brasil possuía uma produção de concreto e argamassa, no ano de 2000, de 220 milhões de toneladas de recursos naturais como areia, brita e calcário, entre outros (JOHN, 2000). A preservação dos recursos naturais deve ser conciliada ao crescimento econômico de maneira que não acarrete o esgotamento dos bens naturais, contribuindo assim, para um desenvolvimento sustentável.

Segundo Milhorange (2016), o Brasil, junto de outros quatro países (China, Índia, EUA e Turquia), estão entre os principais produtores de cimento do mundo. Juntos, são responsáveis por 70% desta produção. O grupo também está entre os grandes mineradores de areia, sendo 80% desta extração, destinada a indústria da construção civil, como por exemplo, para a produção de concretos e vidros.

Além dos impactos referentes ao consumo de matéria e energia, há aqueles associados à geração de resíduos sólidos, líquidos e gasosos. A construção civil gera hoje uma grande quantidade de resíduos, causando sérios problemas relacionados ao meio ambiente, fazendo-se necessário identificá-los para buscar soluções cabíveis e eficientes para que estes sejam minimizados, evitando problemas futuros mais sérios. A contribuição sustentável na construção civil pode gerar inúmeros benefícios ao meio ambiente, tais como: redução no consumo de recursos naturais não renováveis, quando substituídos por resíduos reciclados; redução de áreas necessárias para aterro, pela minimização de volume de resíduos pela reciclagem; redução do consumo de energia durante o processo de produção; redução da poluição, entre outros.

Na busca de minimizar os impactos ambientais provocados pela construção, surge a iniciativa para uma construção sustentável. Partindo disso, vem crescendo a ideia do uso de materiais reciclados na construção civil como as lascas de borracha, provenientes da recapagem de pneus. Dessa forma além de reduzir tais impactos, a utilização das mesmas poderá reduzir o número de pneus destinados em locais inapropriados como aterros, terrenos baldios, pois quando tal ato acontece torna-se um problema de saúde pública, pelo acúmulo de água das chuvas, propiciando a propagação de doenças como a dengue, febre amarela, entre outras.

Foi organizado pelos Sistemas Corporativos (Siscorp) e divulgado pelo Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN) uma análise da frota de veículos no Brasil, segundo esse banco de dados do DENATRAN, em março de 2016 a frota brasileira era composta por 90.392.168 veículos licenciados, com suas identificações extraídas do CRV-Certificado de Registro do Veículo. No Plano Nacional de Energia 2050, foi apresentada uma análise pela Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2014, p. 98) do Ministério de Minas e Energia (MME), no qual se estima que a frota de veículos leves em 2050 atinja cerca de 130 milhões de unidades. Esta frota resulta em uma taxa de aproximadamente 1,6 habitantes/veículo em 2050.

Quanto à produção de pneus, a Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP, 2017), afirma que foram vendidos cerca de 70,7 milhões de unidades de pneus durante o ano de 2016. Deste valor, 63,4% foram utilizados para reposição. Assim sendo, mais de 44,8 milhões de unidades foram descartadas. Assim verifica-se que, teremos sempre um aumento na exploração de recursos naturais não renováveis e maior acúmulo de descartes que necessitam de muito tempo para entrarem em decomposição, incluindo os pneus. Diante desta situação agravante, vê-se uma das saídas na reciclagem.

A reciclagem de pneus abrange a coleta, o transporte, a trituração e a separação dos componentes que constituem o pneu, ou seja, a borracha, o aço e a lona. Estes elementos são transformados em matérias primas novamente. Conforme Axiole e Melo (2016) o processo de reciclagem resulta na borracha pulverizada ou granulada, estas matérias primas são utilizadas em misturas asfálticas, em revestimentos de quadras e pistas de esportes, fabricação de tapetes automotivos, adesivos etc.

Diante dos diversos problemas ambientais presentes na atualidade, percebe-se a necessidade da reciclagem e da reutilização. Assim sendo, este estudo, sobre a viabilidade técnica para a reutilização de lascas de borracha de pneu residuais como alternativa de agregado adicionado ao concreto, pode contribuir consideravelmente na construção civil sustentável.

Seguindo um estudo da avaliação do comportamento do concreto com adição de borracha obtida a partir da reciclagem de pneus para aplicação em elementos pré-moldados, que foi produzida por Santos (2004), de forma geral, ocorre uma redução nas propriedades físicas e mecânicas do concreto. Sendo que essa redução depende da forma, da quantidade e do tamanho das partículas de borracha que são adicionadas ou substituídas no concreto. A substituição de até 45% de volume do agregado miúdo por lascas de borracha triturada em dimensões parecidas com ao agregado substituído pode causar perdas na resistência à compressão em torno de 50%, tanto para corpos-de-prova cilíndricos como cúbicos.

Com a substituição do agregado graúdo as perdas são de 60% para a resistência à compressão em corpos-de-prova cilíndricos, com essa substituição pela borracha, nestas circunstâncias, as perdas acontecem de forma diferenciada entre as diferentes propriedades do concreto.

Em ensaios realizados no laboratório seguindo estes aspectos confirmou-se uma perda de resistência do concreto, todavia notou-se um aumento na tenacidade.

O comportamento do concreto com borracha, sofrendo esforços de colisões, foi estudado por Avcular (1997). Em seus resultados pode-se notar que o concreto com lascas de borracha resistiu de forma satisfatória, e tal fato se intensifica à medida que se controla a quantidade exata de borracha no concreto.

O estudo da borracha como fibras para concreto é mais recente e ocorre em menor número segundo Santos (2004), nesta mudança do agregado, a principal modificação está nos percentuais de borrachas adicionados, que estão entre 0,5% e 2,5% do volume da mistura.

Analisando experimentalmente a resistência à compressão do concreto com adição de borracha devem ser analisados aspectos que abrangem a metodologia empregada pelos autores e ensaios técnicos, é preciso ressaltar o processo de peneiramento utilizado para observar os tamanhos das lascas.

Nesta pesquisa, verificou-se que quando a borracha é inserida no concreto em proporção similar à do cimento, na mesma proporção de volume, as perdas são menores. Entretanto, é de ciência que a presença da borracha não pode diminuir o volume da brita, pois ocasionaria a perda das características do concreto.

Analisa-se também, que o tamanho e a geometria das lascas têm influência significativa no concreto, sendo que com fibras mais grossas apresentam maior resistência à compressão que os concretos com borrachas mais finas. A literatura e pesquisas apresentam uma grande lista de aplicações deste novo concreto com adição de borracha como: construções rodoviárias, painéis de paredes e elementos para composição de barreiras, sendo que esses podem ser submetidos a impactos.

A partir das observações e pesquisas feitas na literatura, pode-se definir uma metodologia a ser empregada na investigação e análise desse método de ensaio e pesquisa, sendo necessários detalhamento e especificações precisas para o uso seguro e efetivo do material.

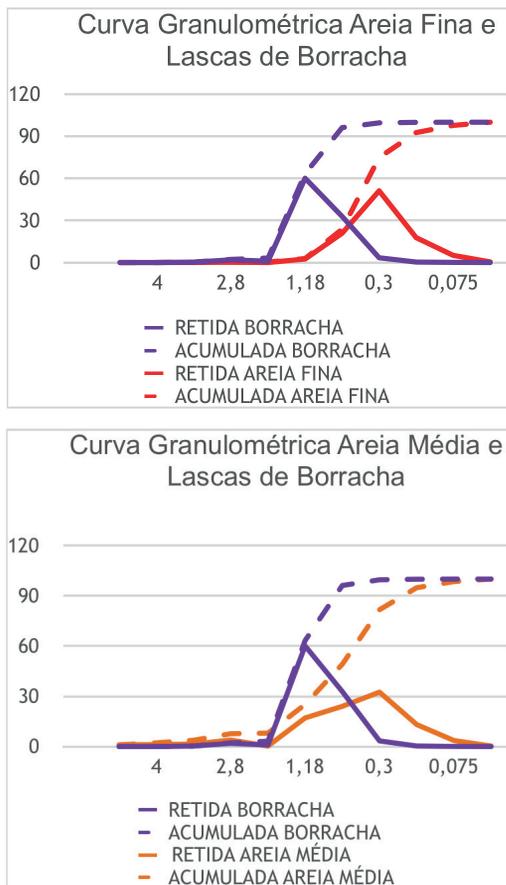
### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Caracterização dos materiais

Inicialmente foi realizado um estudo comparativo dos perfis granulométricos entre os agregados miúdos (areia fina e média) e as lascas de borracha, a fim de estabelecer qual deles mais se assemelha às fibras, em granulometria, para a posterior substituição.

O teste foi realizado de acordo com a NBR 248 – Determinação da composição granulométrica, com o objetivo de padronizar as areias média e fina, além das lascas de borracha. Para isso, utilizou-se do agitador mecânico, amostras devidamente secas e as seguintes peneiras (mm): 4,5 – 4 – 3,35 – 2,8 – 2,36 – 1,18 – 0,6 – 0,3 – 0,15 – 0,075 e fundo, todas posicionadas em ordem crescente da base para o topo.

Com esse teste foi estabelecida a faixa granulométrica da areia fina caracterizada com 0,075mm – 0,3mm e a areia média com 0,3mm – 1,18mm. As lascas de borracha obtiveram uma curva granulométrica com características próximas à granulometria da areia média, conforme pode ser observado nos gráficos.



**Gráfico 1** – Curvas Granulométricas Agregados miúdos e lascas de borracha  
**Fonte:** Elaborado pelo autor

Através do ensaio de granulometria, foi possível determinar qual dos dois agregados miúdos (utilizados no traço), seria substituído pelas lascas de borracha, comparando a granulometria dos materiais, pois para a substituição de um material por outro, os mesmos precisam possuir semelhança no tamanho de seus grãos, dessa forma foi feita a escolha do agregado com maior semelhança granulométrica quando comparada ao material estudado. Observando os gráficos pode-se perceber uma maior similaridade entre a areia média e as lascas de borracha. E devido tal semelhança determinou-se que, a borracha iria substituir porcentagens no volume da areia média.

O aglomerante utilizado foi o cimento Portland - CP II Z - 32 e como agregado graúdo, utilizou-se da pedra brita zero, peneirada em granulometria de 4,5mm - 9,5 mm.

### 3.2. Moldagem, cura, retífica e rompimento dos corpos de prova.

Iniciaram-se os procedimentos para a moldagem dos corpos de prova de concreto referencial (CR) – convencional – e dos corpos de prova com substituição da areia

média pelas lascas de borracha. As substituições testadas, em percentuais, foram de 4%, 8%, 12%, 16% e 20% do volume da areia média nos primeiros testes feitos com corpos de prova. Ao analisar os resultados encontrados percebeu-se uma grande variação na resistência encontrada nos corpos de prova com a borracha. Sendo assim, foram realizados novos testes com porcentagens menores, sendo estas de 1%, 2%, 3% e 4%, onde esses testes tiveram um resultado mais satisfatório em relação à primeira etapa de testes. Os testes foram efetuados seguindo as normativas brasileiras: NBR 9479 – Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova de argamassa e concreto, NBR 5738 – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova, NBR 5739 – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.

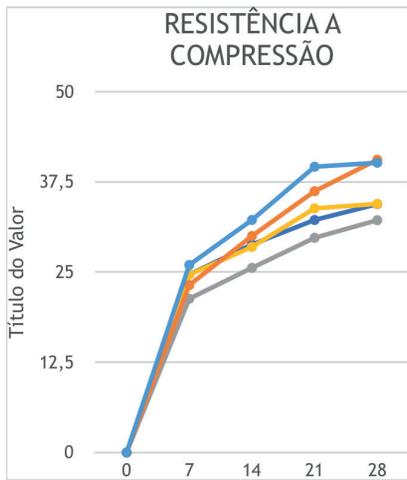
Para o corpo de prova de referência (CR), utilizaram-se os seguintes materiais: 6,9 kg de cimento CP- II- Z- 32; 11,7 kg areia média; 12,7 kg de pedra zero e 3,5 L de água, sendo um traço de 1: 1,7: 1,84: 0,5.

Após a pesagem de todos os materiais, iniciou-se a moldagem dos corpos de prova, sendo eles introduzidos na betoneira na seguinte ordem: pedra 0; uma fração da água; cimento; areia/borracha (quando necessário) e outra fração da água. Este processo foi realizado em um período de 10 a 15 minutos, com paradas para a remoção de concreto preso ao fundo da betoneira. Quando atingida uma consistência homogênea, o concreto foi introduzido aos moldes dos corpos de prova cilíndricos, para testes de resistência à compressão axial, todos os moldes untados com óleo realizado o adensamento, conforme recomenda a NBR 5738.

Após 24 horas de sua moldagem, os corpos de prova foram desformados e submetidos à cura, sendo os corpos de prova cilíndricos submetidos a cura na câmara úmida, posteriormente foi efetuada a retífica e os testes de resistência à compressão axial a cada 7 dias, com a utilização da prensa hidráulica.

## 4. RESULTADOS OBTIDOS

Após o rompimento dos corpos de prova cilíndricos na prensa hidráulica, obtiveram-se os resultados das resistências à compressão axial dos corpos de prova descritos abaixo. Ressaltando que os corpos de prova que continham 3% e 4% de lascas de borracha foram moldados com concretos com uma porcentagem menor de água, com objetivo de manter a mesma fluidez, e o mesmo desempenho em relação ao concreto referencial.



**Gráfico 2** – Resistência a Compressão Axial Mpa/Dias  
**Fonte:** Elaborado pelo autor

Traço/Dias	7	14	21	28
CR	25,985546	32,225693	39,599	40,153
1%	23,193332	30,00007	36,2046	40,571
2%	21,302571	25,587022	29,7531	32,193
3%	24,649918	28,488735	33,8325	34,454
4%	24,670289	28,818504	32,2219	34,423

**Tabela 1** – Resistência a Compressão Axial Mpa/Dias  
**Fonte:** Elaborado pelo autor

Ao analisar os resultados encontrados, as resistências obtidas com os ensaios de ruptura dos corpos de prova, conclui-se que quando se realiza o aumento da porcentagem de lascas de borracha no concreto sua resistência diminui como é verificável no gráfico 1 disposto acima. Entretanto, analisando os corpos de prova com adição de lascas de borracha pode-se observar uma maior coesão pós-ruptura, os fragmentos não se desintegraram completamente, ficando juntos e possivelmente “presos” ao corpo de prova, como se pode observar na figura 1 apresentada a seguir onde demonstra um corpo de prova com adição de borracha e o corpo de prova referencial.

Analisando no aspecto em geral a melhor relação encontrada para o corpo de prova em relação à resistência foi o ensaio realizado com o traço que possuía 1% de lascas de borracha em substituição do agregado miúdo, sendo que estes corpos de prova mantiveram a resistência do concreto referencial, analisando os 28 dias de cura conforme é solicitado pela norma. Desta forma o resultado encontrado se mostra satisfatório, pois se manteve a resistência do concreto diminuindo uma pequena quantidade de matéria prima e acrescentando um material reutilizável, sendo a borracha um material inutilizado dos pneus usados dando um destino ecologicamente correto a este material.



**Figura 1** – Corpos de prova após ensaio de compressão.  
**Fonte:** Elaborado pelo autor

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao realizar uma análise dos resultados obtidos logo depois do rompimento dos corpos de prova, chegou-se a concluir que ao elevar à quantidade da adição das lascas de borracha as propriedades mecânicas do concreto são alteradas, tendo uma redução da resistência à compressão axial nos corpos de prova ensaiados, mas perante os resultados, podemos constatar que ao fazer a substituição do agregado miúdo pelas lascas de borracha em uma pequena quantidade pode-se obter um resultado satisfatório para o concreto, mantendo as características de resistência do concreto referencial como demonstrado nos resultados obtidos.

Todavia analisados todos os aspectos e resultados encontrados não se recomenda a utilização desse material com as lascas de borracha para concretos com funções estruturais.

Mesmo assim, o concreto estudado com as lascas de borracha pode se tornar viável para outras demandas na construção civil, pois se observa alguns benefícios relacionados às propriedades do concreto e às questões ambientais, como a possível redução do consumo de areia, que ocasionaria a redução da extração da matéria prima e podendo ocasionar um aumento na reciclagem dos pneus inutilizados e descartados ao meio ambiente, sendo assim, pode-se dizer que esse concreto é um material voltado à sustentabilidade ambiental.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Centro Universitário Curitiba Unicuritiba, e ao Engenheiro Renato Braga Coelho Neto, coordenador do curso de Engenharia Civil do Unicuritiba.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9479**: Câmaras úmidas e taques para cura de corpos-de-prova de argamassa e concreto. Rio de Janeiro, 1994.

\_\_\_\_\_. **NBR 248** : Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 12142**: Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR 5739** : Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR 5738** : Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS - ANIP. **Fabricação**. 2013. Disponível em: <<http://www.anip.com.br/?cont=fabricacao>>. Acesso em 04 set. 2017.

\_\_\_\_\_. **Produção e vendas** - Relatório atualizado em fevereiro de 2017. Disponível em: <<http://www.anip.com.br/arquivos/producao-vendas.pdf>>. Acesso em 03 set. 2017.

AXIOLE, Nahara de Medeiros Cabral; MELO Rita de Kássya Araújo Freitas. **Tecnologias de reutilização: Uma busca por soluções aos impactos ambientais gerados pelo descarte de pneus no Brasil**. Disponível em: <<http://geades.com.br/index.php/ceades/article/view/24/22>>. Acesso em 06 out. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo IBGE 2013**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/perfilmunic/2013/>>. Acesso em: 21 out. 2017.

JOHN, Vanderley Moacyr. **Reciclagem de resíduos na construção civil**. 113 f. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia de Construção Civil – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

MILHORANCE, Flávia. Base da construção civil, areia é um dos recursos mais valiosos e explorados do mundo.

**O Globo**. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/sociedade/sustentabilidade/base-da-construcao-civil-areia-um-dos-recursos-mais-valiosos-explorados-do-mundo-14960573>>. Acesso em: 20 out. 2016.

OLIVEIRA, Marta. Pesquisa inédita e exclusiva revela cenário do mercado brasileiro de concreto. **Associação Brasileira de Cimento Portland**, São Paulo, ago. 2013. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/cms/imprensa/noticias/pesquisa-inedita-e-exclusiva-revela-cenario-do-mercado-brasileiro-de-concreto/>>. Acesso em: 07 nov. 2017.

SISTEMAS CORPORATIVOS - SISCORP. **Perfil da frota de veículos licenciados no Brasil - março de 2016**. Disponível em: <[http://www.siscorp.com.br/dados\\_mercado/arquivos\\_modelo/PERFIL%20DA%20FROTA%20DE%20VE%20C%38DCULOS%20BRASILEIRA.pdf](http://www.siscorp.com.br/dados_mercado/arquivos_modelo/PERFIL%20DA%20FROTA%20DE%20VE%20C%38DCULOS%20BRASILEIRA.pdf)>. Acesso em: 07 nov. 2017.

## AUTORES

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9398-6352>

**ALEJANDRO SALAZAR GUERRA, MSc.** | Centro Universitário Curitiba | Engenharia Civil | Curitiba, PR - Brasil | R. Pery Sotto Maior Bittencourt, 125 – Atuba, Curitiba-PR, 82630140 | E-mail: [alejandrosalazarguerra@gmail.com](mailto:alejandrosalazarguerra@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1552-7705>

**CAIO EDUARDO SAVINO** | Centro Universitário Curitiba | Engenharia Civil | Curitiba, PR - Brasil | R. Jussara, 2209 – Sitio Cercado, Curitiba-PR, 81920540 | E-mail: [caiosabino\\_1@hotmail.com](mailto:caiosabino_1@hotmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3814-6043>

**ELORAH REGINA DINIZ ROCHA** | Centro Universitário Curitiba | Engenharia Civil | Curitiba, PR - Brasil | R. Jose de Alencar, 120 Apto 1002 – Cristo Rei, Curitiba-PR, 80050240 | E-mail: [elolah.diniz@hotmail.com](mailto:elolah.diniz@hotmail.com)

## COMO CITAR ESTE ARTIGO

GUERRA, Alejandro Salazar; SAVINO, Caio Eduardo; ROCHA, Regina Diniz. Estudo e análise da resistência a compressão de corpos cilíndricos de concreto com substituição parcial do agregado miúdo por lascas de borracha. **MIX Sustentável, [S.l.], v. 5, n. 1, p. 67-73, mar-jun. 2019.** ISSN 24473073. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: dia mês. ano. doi:<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2019.v5.n1.67-73>.

**DATA DE ENVIO:** 19/10/2018

**DATA DE ACEITE:** 20/02/2019



# ANÁLISE TÉCNICA DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS: ASPECTO FÍSICO, HIDRÁULICO E MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

TECHNICAL ANALYSIS OF PERMEABLE PAVEMENTS: PHYSICAL, HYDRAULIC ASPECT AND PATHOLOGICAL MANIFESTATIONS

JOÃO MARCOS BOSI MENDONÇA DE MOURA, MSc. | FURB

NÚBIA PEIXER | FURB

PALOMA PFIFFER MUNIZ | FURB

## RESUMO

O pavimento permeável permite simultaneamente o fluxo de tráfego e a retenção da água pluvial para o amortecimento das vazões de cheias em bacias hidrográficas urbanizadas. Embora seja crescente a implantação desta estrutura, poucos estudos dedicam-se a avaliá-lo em obras públicas. Diante disso, objetivou-se analisar o pavimento permeável implantado nas calçadas da Rua Nereu Ramos e Alameda Rio Branco, Blumenau, Santa Catarina, bem como elaborar uma proposta alternativa a qual busca apontar melhorias técnicas ao pavimento existente. Na análise contempla-se a descrição dos pavimentos “como construído” (*as built*), a determinação do coeficiente de permeabilidade da camada de revestimento e o registro de manifestações patológicas surgidas após a implantação da obra. Os resultados apontaram inadequações na estrutura do pavimento como baixa capacidade de reservação de água, baixo coeficiente de permeabilidade do revestimento e defeitos do tipo “placa bailarina”. Na proposta alternativa detalhou-se um perfil genérico da estrutura e dimensionou-se hidráulicamente o seu reservatório por meio do método da “curva envelope”. Espera-se que os aspectos levantados contribuam para aprimorar novas iniciativas de implantação de pavimentos permeáveis, possibilitando que a medida desempenhe corretamente a sua função no manejo de água pluvial sustentável.

**PALAVRAS CHAVE:** Manejo de água pluvial sustentável; Pavimento permeável; Calçada permeável; NBR 16416; Coeficiente de permeabilidade.

## ABSTRACT

Permeable pavement provides traffic flow and rainwater retention to reduce flood flows in urbanized river basins. Although the implementation of this structure is increasing, few studies evaluating its performance in public constructions. Thus, the aim of the study was to analyze the permeable pavement implanted in the sidewalks of Nereu Ramos street and Rio Branco Avenue, Blumenau, Santa Catarina, as well as to elaborate an alternative proposal which seeks to point out technical improvements. The analysis includes the description of the pavements as built, the determination of the coating permeability coefficient, and the record of pathological manifestations that showed up after the construction of the structure. The results pointed out inadequacies in the pavement structure as low water reservoir capacity, low coating permeability coefficient and “ballet slab” defects. A generic profile of the structure was detailed and its reservoir was hydraulically dimensioned using the “envelope curve” method in the alternative proposal. It is hoped that the aspects raised will contribute to improve new initiatives for the implantation of permeable pavements, allowing the measure to correctly perform its function in the sustainable urban drainage systems.

**KEY WORDS:** Sustainable Urban Drainage Systems; Permeable pavement; Permeable sidewalk; NBR 16416; Permeability coefficient.



## 1. INTRODUÇÃO

No manejo de água pluvial sustentável (*Sustainable Urban Drainage Systems – SUDS*) busca-se evitar que medidas estruturais modifiquem as condições hidrológicas naturais e produzam maiores vazões em áreas a jusante (GONÇALVES; NUCCI, 2017). Estes princípios se alinham com as técnicas que amortecem a vazão de pico, reservam a água pluvial e que não intensificam ou criam novos riscos.

O pavimento permeável é um exemplo de técnica compensatória do manejo de água pluvial sustentável (CALDAS; LINS; SPOSTO, 2017; SILVEIRA; GOLDENFUM, 2007). A técnica “[...] permite a percolação e/ou acúmulo temporário de água, diminuindo o escoamento superficial, sem causar dano à sua estrutura” (ABNT, 2015, p.2).

Pode-se aplicá-lo em pátios, estacionamentos, calçadas, ciclovias e vias de tráfego leve (ABNT, 2015; KUMAR et al. 2016; RODRIGUÉZ-ROJAS et al., 2018). Como se trata de uma medida que pode reduzir o risco de danos associados às inundações bruscas (“enxurradas”), sua implantação deve estar sempre integrada ao planejamento urbano e de bacia hidrográfica (MARTINS, 2012).

No município de Blumenau, Santa Catarina, um relevante avanço deu-se no ano de 2017 com a execução de algumas “calçadas permeáveis” em vias públicas. Contudo, pouco se sabia se estas estruturas estavam adequadas tecnicamente visto que é relativamente recente a sua aplicação por parte do poder público municipal.

Revestimentos ineficazes e ausência ou sub-dimensionamento do reservatório são exemplos de fatores que impedem com que a estrutura efetivamente contribua para o sistema de manejo de água pluvial e produza benefícios ambientais e sociais (MOURA; CARMO; COLDEBELA, 2018).

Nesse contexto, o presente estudo avalia tecnicamente o pavimento permeável implantado nas calçadas da Rua Nereu Ramos e na Alameda Rio Branco, município de Blumenau, Santa Catarina. Analisou-se a sua estrutura física (*as built*), o coeficiente de permeabilidade do revestimento e as manifestações patológicas decorrentes após a implantação dos pavimentos. Posteriormente, apresenta-se uma proposta de projeto alternativo ao pavimento permeável analisado, buscando-se contribuir para que novas iniciativas sejam aprimoradas.

## 2. METODOLOGIA

Na Figura 1 observam-se as etapas metodológicas da pesquisa. A área de estudo compreende uma Rua e uma Alameda da área central do município de Blumenau, Santa Catarina. Implantaram-se os pavimentos permeáveis

nas calçadas destas vias cuja estrutura física foi analisada, bem como o desempenho hidráulico mensurado. Manifestações patológicas foram registradas considerando a terminologia do DNIT (2004).

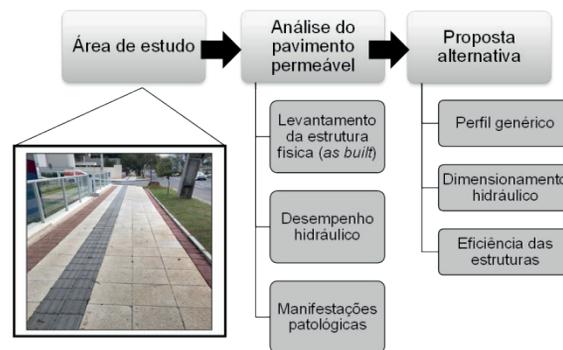


Figura 01 – Etapas metodológicas do estudo.  
Fonte: Autores.

Por fim, elaborou-se uma proposta alternativa ao projeto existente com foco no dimensionamento hidráulico do pavimento e na determinação de sua eficiência.

### 2.1. Área de estudo

No final do ano de 2017 implantaram-se pavimentos permeáveis nas calçadas da Alameda Rio Branco e Rua Nereu Ramos do município de Blumenau, SC. O município possui aproximadamente 352.460 habitantes (IBGE, 2018) e se localiza na bacia hidrográfica do rio Itajaí, cuja área é de aproximadamente 15.000 km<sup>2</sup> (COMITE DO ITAJAÍ, 2010). Os passeios estudados possuem aproximadamente 2.000 metros de extensão e estão submetidos ao tráfego de pedestres de acordo com a definição da NBR 16416 (ABNT, 2015).

### 2.2. Estrutura física e desempenho hidráulico

Determinou-se a estrutura física do pavimento permeável “como construído” (*as built*) por meio de observações de campo. A Prefeitura Municipal de Blumenau não forneceu o projeto da obra para este estudo, embora se tenha solicitado por *email* e telefone.

Para a determinação do coeficiente de permeabilidade do revestimento do pavimento utilizaram-se os procedimentos da NBR 16416 (ABNT, 2015). Foram escolhidos aleatoriamente dois locais de análise, um para cada lado da via, a fim de contemplar todos os tipos de revestimentos cimentícios (Figura 2a). Em cada faixa de calçada realizaram-se cinco ensaios de determinação do coeficiente de permeabilidade, totalizando, portanto, 10 análises na Rua Nereu Ramos e 10 análises na Alameda Rio Branco.

O ensaio contou com os seguintes materiais: anel de infiltração de 30 centímetros de diâmetro com duas marcações a 1,0 e 1,5 cm do revestimento (Figura 2b), recipiente para quantificar e armazenar água, cronômetro, massa de calafetar (vedação) e água potável da rede pública.

Realizou-se a varredura de cada ponto antes da execução de cada teste. Em sequência, fez-se a pré-molhagem (Figura 2c). Utilizaram-se 3,6 L de água para os ensaios buscando-se sempre manter o nível d'água entre as duas marcações (Figura 2b). Simultaneamente cronometrou-se o tempo para a total infiltração dos 3,6 L de água (ABNT, 2015). O cálculo do coeficiente de permeabilidade ( $k$ ) deu-se conforme a equação (1) (ABNT, 2015):

$$k = \frac{C \cdot m}{(d^2 \cdot t)} \quad (1)$$

Onde:  $k$  – coeficiente de permeabilidade (mm/h);  $m$  – massa da água infiltrada (kg);  $d$  – diâmetro do cilindro de infiltração (mm);  $t$  – tempo necessário para toda água infiltrar (s);  $C$  – fator de conversão de unidades do sistema SI, com valor igual a 4 583 666 000.



**Figura 02** – Determinação do coeficiente de permeabilidade: a) indicação de 3 dos 5 pontos analisados em uma faixa da calçada; b) marcações e nível de água durante o ensaio; c) realização da pré-molhagem.

Fonte: Autores.

### 2.3. Manifestações patológicas

Não há uma norma específica para identificar manifestações patológicas em pavimentos permeáveis, portanto os defeitos foram caracterizados por meio de uma adaptação metodológica do DNIT (2004).

DNIT (2004) tem por objetivo de estabelecer uma nomenclatura padronizada de defeitos que ocorrem em pavimentos rígidos de concreto de cimento Portland. Os

tipos de defeitos considerados a luz da norma foram: alinhamento de placas, fissura de canto, placa dividida, desnível pavimento - acostamento, fissuras lineares, grandes reparos, pequenos reparos, desgaste superficial, quebras localizadas, passagem de nível, fissuras superficiais e escamação, fissuras de retração plástica, esborcinamento ou quebra de canto, esborcinamento de juntas, placa "bailarina", assentamento e buracos.

### 2.4. Proposta alternativa

A proposta alternativa de pavimento permeável consistiu-se na formulação de melhorias técnicas na estrutura analisada. As especificações relacionadas aos critérios e materiais do projeto alternativo se basearam nos requisitos da NBR 16416 (ABNT, 2015).

Para o dimensionamento hidráulico da camada de base do pavimento utilizou-se o método da "curva envelope" (SILVEIRA; GOLDENFUM, 2007) porque este considera a maximização da diferença entre altura de entrada e altura de saída no tempo (equação 2).

$$V_{max} = \left( \sqrt{\frac{a}{60}} \cdot \sqrt{\beta} \cdot T^{\frac{b}{2}} - \sqrt{\frac{c}{60}} \cdot \sqrt{q_s} \right)^2 \quad (2)$$

Onde:  $V_{max}$  – volume máximo de reservação (mm);  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – parâmetros da equação IDF de Talbot;  $\beta$  – produto do coeficiente de escoamento pela razão entre a área contribuinte e área do dispositivo;  $T$  – período de retorno (anos);  $q_s$  – vazão de saída constante do dispositivo (mm/h).

Adotou-se inicialmente como 10 anos o período de retorno da chuva de projeto, o mínimo exigido pela NBR 16416 (ABNT, 2015).

Na Tabela 1 apresentam-se os parâmetros de cálculo da estação pluviométrica escolhida, a mais próxima da área de estudo. A transformação dos parâmetros  $K$ ,  $m$ ,  $d$  e  $n$  para uma IDF de Talbot se baseou na solução numérica de Silveira e Goldenfum (2007).

Estação	Coeficientes			
Código	K	m	d	n
02649007	782,4	0,193	9,0	0,700

**Tabela 01** – Estação pluviométrica escolhida e parâmetros da relação IDF.

Fonte: Back e Bonetti (2014).

Determinou-se o coeficiente  $\beta$  por meio da equação (3):

$$\beta = \frac{A_{pav.} + C \cdot A}{A_{pav.}} \quad (3)$$

Sendo:  $A_{pav}$  – área de pavimento permeável ( $m^2$ );  $C$  – coeficiente de escoamento superficial da área de contribuição;  $A$  – área de contribuição do pavimento permeável ( $m^2$ ).

As áreas de contribuição são ocupadas exclusivamente por edificações adensadas (coeficiente de escoamento superficial = 0,85). Mais detalhes sobre a delimitação das referidas áreas encontram-se nos trabalhos de Peixer (2017) e Muniz (2017).

O solo da região é predominantemente siltico-argiloso, de baixa condutividade hidráulica (EMBRAPA, 2004). Portanto, considerou-se nula para fins de cálculo a vazão de saída do subleito.

Por fim, a altura da camada de reservatório é resultante da razão entre o volume máximo de reservação e a porosidade do material de enchimento (equação 4).

$$H = \frac{V_{max}}{\eta} \quad (4)$$

Onde:  $H$  – altura do reservatório do pavimento permeável (mm);  $\eta$  – porosidade do material de enchimento do pavimento permeável (emprego de “brita 3” –  $\eta = 35\%$ ).

#### 2.4.1. Adaptação das alturas de reservatório

Grandes alturas da camada de reservatório podem elevar os custos da obra e ocasionar danos à estrutura devido às pressões hidrodinâmicas. Por esta razão adotou-se como 40 cm a altura máxima da camada de reservatório e recalculou-se a eficiência dos pavimentos que tiveram seu reservatório reduzido em relação ao dimensionamento inicial. Quantificou-se a nova eficiência por meio do período de retorno da chuva de projeto (equação 5).

$$T = \left( \frac{H \cdot \eta}{\frac{a}{60} \cdot \beta} \right)^{\frac{1}{b}} \quad (5)$$

Sendo:  $T$  – período de retorno (anos);  $H$  – altura do reservatório do pavimento permeável (mm);  $\eta$  – porosidade do material de enchimento do pavimento permeável;  $a$  – parâmetro da equação IDF de Talbot;  $\beta$  – equação (3).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Estrutura física (as built)

Na Figura 3 representa-se o perfil predominante dos pavimentos permeáveis implantados nas calçadas da Rua Nereu Ramos e Alameda Rio Branco.

Observa-se que se adotou o sistema de infiltração total no subleito, não havendo manta impermeável ou drenos na base da camada de reservação (Figura 3).

O revestimento implantado possui 6 cm de espessura (Figura 3) e não atende a espessura mínima requerida pela NBR 16416 para tráfego leve (ABNT, 2015). Não foi possível avaliar o comportamento mecânico do material.

Ao final da obra aplicou-se uma camada de areia sobre o revestimento com o intuito de manter preenchidas as juntas. Trata-se de uma etapa alinhada ao método convencional de execução convencional de peças intertravadas de concreto (GODINHO; GROSSI, 2002), sem considerar que tal ação pode colmatar as juntas e os poros do revestimento.

A camada de assentamento do pavimento conta com 2 cm de pó de brita compactada por rolo compactador liso. Neste caso a NBR 16416 (ABNT, 2015) recomenda a utilização de areia com faixa granulométrica entre 1,16 e 9,50 mm.

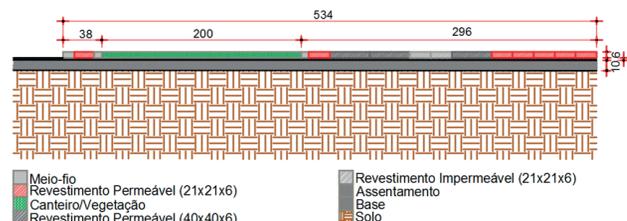


Figura 03 – Perfil predominante do pavimento implantado na Alameda Rio Branco, Blumenau, SC (sem escala/ medidas em centímetros).

Fonte: Autores.

A aplicação de pó de brita é inadequada do ponto de vista normativo porque pode prejudicar o desempenho hidráulico da estrutura. Além disso, a ausência de uma manta de geotêxtil entre a camada de assentamento e de base possibilita o transporte de sedimentos para o reservatório, reduzindo seu volume útil.

No que se refere à camada de base, isto é, ao reservatório (Figura 3), observou-se a execução de altura fixa de 10 cm de brita comercialmente denominada como “graduada” (mistura de brita 0, brita 1 e pó de brita). A altura fixa do reservatório em todas as calçadas revela que provavelmente o pavimento não foi dimensionado hidráulicamente. Ademais, o emprego da “brita graduada” não é comum na execução da camada de base, porque proporciona ao reservatório uma baixa capacidade de reservação por unidade de volume (ACIOLI, 2005).

Considerando estes dois fatores (gradação do material de enchimento e altura fixa da camada de reservação), pode-se inferir que não se concebeu o pavimento como de fato uma técnica compensatória do manejo de água pluvial sustentável.

	Rua Nereu Ramos, Blumenau, SC										Alameda Rio Branco, Blumenau, SC										
	Lado esquerdo (nº 845)					Lado direito (nº 828)					Lado esquerdo (nº 840)					Lado direito (nº 697)					
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
Tempo de infiltração (s)	3583	>3600				3592	846	>3600	843	>3600	2940	>3600				1783	>3600				3094
k - Coeficiente de permeabilidade (mm/s)	0,01	<0,01				0,01	0,06	<0,01	0,06	<0,01	0,02	<0,01				0,03	<0,01				0,02
Condição técnica – NBR 16416 (ABNT, 2015)	Inadequado (K < 1mm/s)																				

**Tabela 2** – Coeficientes de permeabilidade das calçadas da Rua Nereu Ramos e Alameda Rio Branco, Blumenau, SC.

Fonte: Autores.

O reservatório constitui-se em um dos elementos “chave” da estrutura porque é o responsável por reter temporariamente a água pluvial e amortecer os picos de cheia de corpos d’água e/ou dos sistemas de drenagem.

Portanto, problemas vinculados ao reservatório reduzem ou até mesmo inviabilizam a produção de benefícios em vários aspectos. Do ponto de vista ambiental, um reservatório ineficaz não permite que as condições hidrológicas naturais sejam restauradas ou pelo menos minimamente afetadas (GONÇALVES; NUCCI, 2017). Já na perspectiva social, a falha de medidas estruturais gera dispêndio de recursos (públicos, neste caso) e uma falsa percepção de segurança da população em relação ao risco de inundações.

### 3.2. Desempenho hidráulico

Na Tabela 2 observam-se os resultados dos testes de determinação do coeficiente de permeabilidade da camada de revestimento dos pavimentos da Rua Nereu Ramos e da Alameda Rio Branco. Apresenta-se o tempo de infiltração da água utilizada no teste, bem como o próprio coeficiente de permeabilidade de cada ponto analisado.

Os valores expressos por “>3600” representam tempo de espera para a infiltração total superior a 3600 s (1 hora). De 1 a 5 estão numerados cada ponto de análise em cada lado/faixa de calçada.

Observa-se que os coeficientes de permeabilidade para este pavimento encontram-se abaixo do recomendado por norma (ABNT, 2015). Além disso, durante os ensaios observou-se que a infiltração da água ocorria pelas juntas e não pelo revestimento.

Alguns fatores podem ter contribuído para que não houvesse infiltração de água no revestimento. Os seus poros podem ter sido colmatados devido ao espalhamento de areia (etapa final da execução) ou de fato não há poros interconectados no material, característica fundamental

de materiais cimentícios permeáveis (COSTA et al., 2018).

Vale ressaltar, que a NBR 16416 (ABNT, 2015) não elimina a possibilidade de a água pluvial infiltrar exclusivamente pelas juntas do pavimento permeável. Todavia, há condições técnicas que devem ser consideradas como tamanho da junta, composição granulométrica do material de enchimento e índice de porosidade.

### 3.3. Manifestações patológicas

Na Figura 4a observa-se o principal e mais frequente defeito registrado após a implantação do pavimento permeável em estudo. Trata-se da manifestação patológica denominada pelo DNIT (2004) como “placa bailarina”.



**Figura 04** – a) defeito do tipo placa “bailarina” em pavimentos permeáveis recém-implantados; b) execução de camada de concreto “seco” / poroso.

Fonte: Autores.

O fenômeno consiste na movimentação visível e vertical da placa ao ser submetida à ação de tráfego. Registrou-se sua ocorrência em quase todas as áreas com passagem de veículos automotores (Figura 4a). Em alguns casos essa movimentação associou-se ao rebaixamento da camada de assentamento e até mesmo à ruptura do revestimento.

Para solucionar o problema e evitar a movimentação do revestimento substituiu-se a camada de assentamento das áreas afetadas por uma camada de concreto “seco”, poroso (Figura 4b). Embora se tenha resolvido o defeito não se sabe o quanto essa camada de concreto é resistente, durável e permeável.

De maneira alternativa, menores peças de concreto permeável poderiam ser empregadas nessas regiões para evitar o fenômeno de “alavanca” e possibilitar um maior travamento do revestimento. A aplicação de menores placas também aumentaria a concentração de juntas por metro quadrado, o que possivelmente aumentaria o coeficiente de permeabilidade do revestimento.

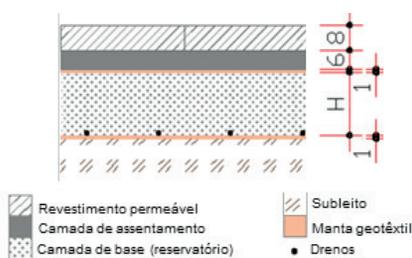
### 3.4. Proposta alternativa

A seguir descreve-se a proposta alternativa de pavimento permeável nas calçadas da Rua Nereu Ramos e Alameda Rio Branco. Salienta-se que não se pretende aqui esgotar todas as especificações técnicas necessárias para a execução da estrutura. Já há uma ampla literatura técnica sobre o assunto (ABNT, 2015; ACI 2010; MARCHIONI; SILVA, 2011).

Objetiva-se neste item pontuar os aspectos mais relevantes para que a estrutura cumpra a sua função no manejo de água pluvial sustentável. Deste modo, considerando o caráter científico do estudo, também se discute e problematizam alguns aspectos normativos.

#### 3.4.1. Perfil genérico e especificações

Na Figura 5 apresenta-se um perfil genérico e alternativo ao da obra em estudo baseado nas considerações da NBR 16416 (ABNT, 2015). Observa-se que cinco elementos compõe o pavimento, são eles: revestimento, camada de assentamento, reservatório, drenos e manta geotêxtil.



**Figura 05** – Perfil genérico proposto para o pavimento permeável (sem escala/ medidas em centímetros / “H” variável, resultado do dimensionamento hidráulico).

**Fonte:** Autores.

O revestimento do pavimento pode ser composto por *pavers* com juntas alargadas, peças de concreto permeável intertravadas, placas de concreto permeável ou concreto permeável moldado no local (ABNT, 2015). Caso se escolha um revestimento de concreto permeável moldado no local a espessura deve possuir pelo menos 10 cm (tráfego leve), os demais devem possuir espessura mínima de 8 cm (tráfego leve). Na literatura científica encontram-se inúmeros estudos que permitem desenvolver um concreto permeável com um

desempenho adequado do ponto da NBR 16416 (ACI, 2010; CARLS, 2018; MOURA; CARMO; COLDEBELA, 2018; NGUYEN et al., 2014).

Na camada de assentamento propõe-se que o material granular seja compactado o mínimo possível nas regiões de tráfego exclusivo de pedestres. Sugere-se uma altura de 6 cm para esta camada e o emprego de agregados graúdos com dimensão igual ou inferior a 9,5 mm. Deve-se evitar o uso de areia fina, média ou pó de brita.

O reservatório do pavimento (camada de base) deve ser composto por agregados de distribuição granulométrica aberta, proporcionando um maior número de vazios. Em geral, para evitar que os reservatórios tenham grandes alturas empregam-se agregados graúdos de 25 a 50 mm de diâmetro, denominados comercialmente como “brita 3” (SOUZA, 2002).

Na Figura 5 também se constata o emprego de duas camadas de manta geotêxtil. Uma entre a camada de assentamento e o reservatório e outra entre a camada de reservatório e o subleito. Assim busca-se evitar o transporte de sedimentos para o reservatório, fenômeno físico que resultaria na diminuição da sua capacidade de reservação.

Por fim, propõe-se a aplicação de drenos na base do reservatório com a finalidade de escoar gradativamente o volume de água para o sistema de drenagem local e amortecer os picos de cheia durante eventos de chuva intensa.

#### 3.4.2. Dimensionamento hidráulico

Na Figura 6 indicam-se os trechos dimensionados hidráulicamente pelo método da “curva envelope”. Trata-se de um método que considera os parâmetros de chuva da região e que por esta razão a NBR 16416 permite que seja utilizado.

Com a aplicação do método da “curva envelope” não foi possível considerar o tempo de duração da chuva recomendado pela NBR 16416 (60 minutos). Isto porque o método considera sempre o tempo em que ocorre a máxima diferença entre altura de entrada (água escoada superficialmente) e altura de saída (água infiltrada pelo subleito + água drenada).



**Figura 06** – Perfil genérico proposto para o pavimento permeável (sem escala).

**Fonte:** Adaptada de Google Maps (2018).

Alameda Rio Branco								Rua Nereu Ramos					
Quadra	H (cm)	Quadra	H (cm)	Quadra	H (cm)	Quadra	H (cm)	Quadra	H (cm)	Quadra	H (cm)	Quadra	H (cm)
1	25	7	25	13	25	19	25	20	40	26	60*	32	25
2	45*	8	25	14	40			21	25	27	25	33	25
3	25	9	25	15	25			22	25	28	25	34	70*
4	25	10	25	16	25			23	25	29	25	35	25
5	25	11	25	17	25			24	60*	30	70*	36	25
6	40	12	35	18	55*			25	25	31	25	37	25

**Tabela 3** – Localização dos trechos dimensionados e a sua respectiva altura de reservatório (H).

Fonte: Autores.

\* Alturas de reservatório alteradas posteriormente.

Cada trecho dimensionado (Figura 6 e Tabela 3) corresponde a uma quadra, isto é, unidades independentes, as quais recebem água pluvial escoada superficialmente e proveniente exclusivamente da sua área.

A Alameda Rio Branco possui 19 quadras dimensionadas e a Rua Nereu Ramos 18, formando ao todo 37 unidades. Nesta última Rua dimensionou-se até o cruzamento com a Rua Pastor Stutzer porque se trata do local de término da obra (Figura 6).

As alturas de reservatório (H) variaram de 25 a 70 cm, sendo resultantes de arredondamento por números múltiplos de cinco. Duas quadras (nº 2 e 18) na Alameda Rio Branco e quatro quadras (nº 24, 26, 30 e 34) na Rua Nereu Ramos tiveram alturas maiores que 40 cm (Tabela 3). Todas estas seis quadras recebem água escoada superficialmente de lotes privados e em nenhum caso as áreas de contribuição superaram a área do pavimento em 500% (recomendação da NBR 16416).

Não obstante, espera-se que futuramente estes lotes particulares apliquem técnicas compensatórias de manejo de água pluvial e “assumam” o volume produzido em sua propriedade. Por esta razão propõe-se limitar para 40 cm a altura dos reservatórios. Além disso, busca-se evitar que grandes fluxos de água gerem manifestações patológicas no pavimento.

Esta limitação de altura do reservatório não está contemplada na NBR 16416, ainda que se possa considerar que a questão é indiretamente abordada na restrição do tamanho da área de contribuição. No entanto, observa-se que a recomendação é insuficiente e ainda permite a obtenção de alturas pouco usuais em trabalhos científicos que monitoraram o comportamento da estrutura por um período significativo de tempo (ACIOLI, 2005; CASTRO et al., 2013; PINTO, 2011; VIRGILIIS, 2009).

Ainda sim, se reconhece o caráter empírico da atribuição. Não foram encontradas pesquisas que correlacionem o efeito de propriedades hidrodinâmicas internas na durabilidade de pavimentos permeáveis.

Deste modo, na Tabela 4 encontra-se quantificado o impacto da redução da altura dos reservatórios no tempo de retorno da chuva de projeto, ou seja, no parâmetro que traduz a probabilidade de falha hidráulica da estrutura.

Quadra	H <sub>dim</sub> (cm)	H <sub>nova</sub> (cm)	T <sub>novo</sub> (anos)
2	45	40	1,4
18	55		7,6
24	60		1,3
26	60		1,4
30	70		0,4
34	70		0,4

**Tabela 04** – Impacto da redução da altura dimensionada (H<sub>dim</sub>) no período de retorno da chuva de projeto (T<sub>novo</sub>).

Fonte: Autores.

Nota-se que o período de retorno da chuva de projeto dos seis trechos analisados se reduz significativamente em relação ao período de retorno inicialmente adotado (10 anos).

Nesse sentido três aspectos podem ser levantados. Primeiro referente à importância de que cada lote contribua efetivamente para um manejo de água pluvial sustentável, de modo que não diminua a eficiência das estruturas implantadas em locais públicos (Tabela 4).

Segundo, concernente à recomendação estipulada pela NBR 16416 de utilizar um período de retorno da chuva de projeto de pelo menos 10 anos. Ao propor este nível de eficiência o/a projetista deve se atentar à dinâmica hidrológica do local da implantação. Pouco adianta dimensionar o pavimento considerando um período de retorno da chuva de projeto igual a 10 anos, se a área de implantação é inundada com mais frequência devido a fatores de macro escala, pouco impactados pelo uso de técnicas compensatórias (questão de macrodrenagem).

Para exemplificar, pode-se citar o caso da própria área de estudo, que se localiza as margens do Rio Itajaí-açu (Figura 6), principal corpo d’água da bacia do Rio

Itajaí-açu. O período de retorno de inundação da área devido ao extravasamento deste rio é próximo aos 10 anos (CEOPS, 2017; DEFESA CIVIL DE BLUMENAU, 2017). Em outras palavras, pode-se inferir que em média a cada 10 anos a área é inundada ao menos uma vez devido a fatores relacionados ao canal principal. Neste caso seria baixo o efeito de técnicas compensatórias uma vez que a área urbanizada não alcança 5% do território da bacia (COMITE DO ITAJAI, 2010). Assim, não seria lógico dimensionar o pavimento para um período de retorno de chuva de projeto maior que 10 anos, já que é muito provável que o pavimento seja submerso, antes mesmo que ocorra a falha hidráulica da estrutura.

Por fim, estes aspectos apontam uma terceira questão: a limitação das técnicas compensatórias. Destaca-se que o pavimento permeável atua no controle do volume de água (cheia, enchente, processo hidrológico) e não nas condições de escoamento do canal (processo hidráulico). Remete-se, portanto, a necessidade da gestão urbana considerar todos os fatores que constroem o risco de desastres associados às inundações.

Outra questão que revela a limitação de qualquer obra de engenharia hidráulica é o próprio período de retorno da chuva de projeto. O parâmetro traduz a probabilidade de falha hidráulica da estrutura e é definido em função de aspectos técnicos, econômicos e operacionais. Os/As projetistas devem esclarecer isso aos/às gestores/as públicos/as e à população. Medidas estruturais visam reduzir o risco de danos e não possuem capacidade de prevenir desastres associados às inundações (MOURA; VIEIRA; BOHN, 2016). Por esta razão é importante que a implantação de pavimentos permeáveis seja resultante de uma política pública urbana articulada com o Plano de Bacia Hidrográfica e que aborde outros temas igualmente importantes como: regulação do uso e ocupação do solo, educação ambiental e qualificação continuada do quadro técnico público (projetistas, fiscais, etc.).

#### 4. CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS

A presente pesquisa objetivou avaliar tecnicamente o pavimento permeável implantado no município de Blumenau-SC num contexto em que pouco se sabia sobre a medida recentemente implantada pelo poder público municipal.

Os resultados indicaram desajustes técnicos nos reservatórios do pavimento, bem como baixo coeficiente de permeabilidade do revestimento e defeitos do tipo “placa bailarina”. Embora as manifestações patológicas tenham sido resolvidas, salienta-se que os outros problemas comprometem o funcionamento da estrutura no manejo de água pluvial sustentável.

Por esta razão, se elaborou uma proposta alternativa. Detalhou-se um perfil genérico da estrutura permitindo que o pavimento não apenas reduza o escoamento superficial, mas também reserve e amortize os picos de cheia durante eventos de chuva. Portanto, concebeu-se o pavimento permeável como uma medida de redução de cheia (enchente). Este aspecto poderia ser adicionado à terminologia da NBR 16416 ao se referir ao pavimento permeável. Assim deixa-se esclarecida a sua principal função no manejo de água pluvial sustentável.

O dimensionamento hidráulico realizado considerou aspectos técnicos e discutiu algumas recomendações da NBR 16416 como o tempo de duração e o período de retorno da chuva de projeto. Deve-se considerar a dinâmica hidrológica local ao estabelecer um valor mínimo para o tempo de retorno, tendo em vista que as técnicas compensatórias são projetadas considerando as incertezas inerentes a qualquer obra de engenharia.

Deste modo espera-se que novas iniciativas de implantação de pavimentos permeáveis sejam incorporadas ao planejamento urbano, considerando fatores técnicos, econômicos e ambientais, proporcionando benefícios ao desenvolvimento sustentável das cidades.

#### AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

#### REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16416 – Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos**. Rio de Janeiro: 2015.
- ACI – AMERICAN CONCRETE INSTITUTE - ACI 522R-10. **Report on pervious concrete**. Farmington Hills, Michigan: American Concrete Institute; 2010. 38p.
- ACIOLI, L. A. **Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte**. 2005. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- BACK, Á. J.; BONETTI, A. V. Chuva de projeto para instalações prediais de águas pluviais de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 4, p.260-267, dez. 2014.
- CALDAS, L. R.; LINS, D. N.; SPOSTO, R. M. Avaliação do

ciclo de vida de um pavimento de concreto drenante considerando diferentes unidades funcionais. **MIX Sustentável**, v. 3, n. 3, p. 14-23, 2017.

CARLS, B. **Coefficiente de permeabilidade, resistência mecânica e durabilidade de concreto permeável dosado por três diferentes métodos**. 2018, 121 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Regional de Blumenau, Blumenau.

CASTRO, A. S. et al. Avaliação da evolução do comportamento quantitativo de pavimentos permeáveis no controle do escoamento superficial. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 1, p. 263-273, 2013.

CEOPS - CENTRO DE OPERAÇÕES DO SISTEMA DE ALERTA. **Relatório de Cota-enchente de Blumenau**, 2012. 35 p. Disponível em: <[http://ceops.furb.br/cotas/Relatorio\\_Final\\_Cotas\\_Enchentes-09-11-2012.pdf](http://ceops.furb.br/cotas/Relatorio_Final_Cotas_Enchentes-09-11-2012.pdf)> Acesso em: 08 out. 2017.

COMITE DO ITAJAI. **Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Itajai**. Caderno síntese. 2010. Disponível em: <[http://www.aguas.sc.gov.br/...rio-itajai/...rio-itajai/.../173\\_162158b668453a53c5b010ac0aa](http://www.aguas.sc.gov.br/...rio-itajai/...rio-itajai/.../173_162158b668453a53c5b010ac0aa)>. Acesso em: 03 jan 2019.

COSTA, F. B. P. et al. Best practices for pervious concrete mix design and laboratory tests. **Rev. IBRACON Estrut. Mater.** v. 11, n. 5, p. 1151-1159, 2018.

DEFESA CIVIL DE BLUMENAU. **Cotas de Enchentes**. Disponível em: <<http://alertablu.cob.sc.gov.br/p/cotas>> Acesso em: 08 out. 2017.

DNIT-DEPARTAMENTONACIONALDEINFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **061: Pavimento rígido - Defeitos - Terminologia**. Rio de Janeiro: Diretoria de Planejamento e Pesquisa, 2004. 13 p.

EMBRAPA. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. Solos do Estado de Santa Catarina. 2004. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/.../BPD462004SantaCatarina.pdf>>. Acesso em: 7 mar 2017

GODINHO, D. P.; GROSSI, L. C. **Pavimentos de concreto intertravado**. 2002. Disponível em: <<http://piniweb17.pini.com.br/construcao/noticias/>

pavimentos-de-concreto-intertravados-80764-1.aspx> Acesso em: 02 jan 2019.

GONÇALVES, F. T.; NUCCI, J. C. Sistemas de drenagem sustentável (SUDS): proposta para a bacia do rio Juveve, Curitiba-PR. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 42, p. 192-209, 2017.

GOOGLE MAPS. **Google Maps**. Disponível em: <<https://maps.google.com/>>. Acesso em: 21 dez 2018.

IBGE. **Blumenau, Santa Catarina, Brasil**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=420240>>. Acesso em: 2 set 2018.

KUMAR, K. et al. In-situ infiltration performance of different permeable pavements in a employee used parking lot–A four-year study. **Journal of Environmental Management**, v. 167, p. 8-14, 2016.

MARCHIONI, M.; SILVA, C. O. **Pavimento Intertravado Permeável - Melhores Práticas**. São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 2011. 24 p.

MARTINS, J. R. S. Gestão da drenagem urbana: só tecnologia será suficiente. **Revista DAEE**, v. 1, p. 1-11, 2012.

MOURA, J. M. B. M.; VIEIRA, R.; BOHN, N. Barragem de Contenção de Cheias e Políticas Públicas: o caso de Ituporanga–SC, Brasil. **Sustentabilidade em Debate**, v. 6, n. 3, p. 70-88.

MOURA, J. M. B. M.; CARMO, J. L. ; COLDEBELA, A. . Proposta de implantação de pavimentos permeáveis em ciclovias e ciclofaixas: estudo de caso em Blumenau-SC. In: VI Encontro de Sustentabilidade em Projeto, 2018, Florianópolis. **Anais... ENSUS 2018**. Florianópolis: UFSC/VIRTUHAB, 2018. v. 2. p. 672-682, 2018.

MUNIZ, P. P. **Análise técnica de pavimentos permeáveis implantados no município de Blumenau-SC: um estudo de caso na Rua Nereu Ramos**. Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia Civil, Fundação Universidade Regional de Blumenau. 2017.

NGUYEN, D. H. et al. A modified method for the design of pervious concrete mix. **Construction and Building Materials**, v. 73, p. 271-282, 2014.

PEIXER, N. **Análise técnica de pavimentos permeáveis implantados no município de Blumenau-SC: um estudo de caso na Alameda Rio Branco**.

Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia Civil, Fundação Universidade Regional de Blumenau. 2017.

PINTO, L. L. C. A. **O desempenho de pavimentos permeáveis como medida mitigadora da impermeabilização do solo urbano**. 2011, 283 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

RODRÍGUEZ-ROJAS, M. I. et al. A study of the application of permeable pavements as a sustainable technique for the mitigation of soil sealing in cities: A case study in the south of Spain. **Journal of Environmental Management**, v. 205, p. 151-162, 2018.

SILVEIRA, A.L.L.; GOLDENFUM, J. A. Metodologia generalizada para pré-dimensionamento de dispositivos de controle pluvial na fonte. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 12, n. 2, p. 157-168, 2007.

SOUZA, V. C. B. S. **Estudo experimental de trincheiras de infiltração no controle da geração do escoamento superficial**. 2002, 137 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

VIRGILIS, A. L. C. **Procedimento de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias**. 2009, 191 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

## AUTORES

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4847-3160>

**JOÃO MARCOS BOSI MENDONÇA DE MOURA, MSc.** | Universidade Regional de Blumenau | Departamento de Engenharia Civil | Blumenau, SC - Brasil | Correspondência para: R. São Paulo, 3250, sala i-102 - Itoupava Seca, Blumenau - SC, 89030-000 | E-mail: joaomarcosmm@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9308-8878>

**NÚBIA PEIXER** | Universidade Regional de Blumenau | Curso de Engenharia Civil | Blumenau, SC - Brasil | Correspondência para: R. São Paulo, 3250, sala i-102 - Itoupava Seca, Blumenau - SC, 89030-000 | E-mail: nubiapeixer@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8575-229X>

**PALOMA PFIFFER MUNIZ** | Universidade Regional de Blumenau | Curso de Engenharia Civil | Blumenau, SC - Brasil | Correspondência para: (R. São Paulo, 3250, sala i-102 - Itoupava Seca, Blumenau - SC, 89030-000) | E-mail: palomapfiffer@gmail.com

## COMO CITAR ESTE ARTIGO

MOURA, João Marcos Bosi Mendonça de; PEIXER, Núbia; MUNIZ, Paloma Pfiffer. Análise técnica de pavimentos permeáveis: aspecto físico, hidráulico e manifestações patológicas. **MIX Sustentável, [S.l.], v. 5, n. 1, p. 75-84, mar-jun. 2019**. ISSN 24473073. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: dia mês. ano. doi:<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2019.v5.n1.75-84>.

**DATA DE ENVIO:** 07/01/2019

**DATA DE ACEITE:** 13/02/2019

# PÓ DO ENDOCARPO DO COCO: INPUT NO PROCESSO DE DESIGN PARA EXPERIÊNCIAS COM MATERIAIS

*COCONUT ENDOCARP POWDER: INPUT INTO THE DESIGN PROCESS FOR MATERIAL*

---

**MARCELO VICENTE** | UFPE

**AMILTON ARRUDA, PhD.** | UFPE

**MATHEUS MARTINS** | UFPB

**THAMYRES CLEMENTINO, MSc.** | UFPE

## RESUMO

Os estudos de novas propriedades materiais, a sustentabilidade e o resíduo com input processual são temáticas em evidência na agenda do design industrial. Nesse contexto, o artigo objetiva apresentar o *Material Driven Design*, método que aborda os materiais seguindo o processo de transformação, tendo como ponto de partida uma determinada matéria prima e sua exploração mecânica, estética e simbólica; objetivando a interação do usuário com as propriedades materiais. O artigo abordará os experimentos com o pó do endocarpo do coco, resíduo sólido em abundância no país. O processo empírico proposto pelo método foi a base para confirmar a hipótese da possibilidade de reaproveitamento e ressignificação residual. Pondera-se o caráter contínuo da pesquisa, e a obtenção de resultados positivos no momento estimulam a continuação exploratória com o intuito de consolidar as propriedades potenciais do material desenvolvido.

**PALAVRAS CHAVE:** Material driven; Resíduo sólido; Reciclar; Ressignificação.

## ABSTRACT

*The studies of new material properties, sustainability and residue as a procedural input are thematic in evidence in the industrial design agenda. In this context, the article aims to present the Material Driven Design. The method approaches the materials following the process of transformation taking as a starting point a certain raw material and its mechanical, aesthetic and symbolic exploration; having as goal the interaction of the user with the material properties. The article will address the experiments with coconut endocarp powder, solid residue in abundance in the country; the empirical process proposed by the method was the basis for confirming the hypothesis of the possibility of reuse and residual redetermination. The continuous character of the research is considered, and the achievement of positive results at the moment stimulate the exploratory continuation with the purpose of consolidating the potential properties of the developed material.*

**KEY WORDS:** Material Driven; Solid waste; Recycle; Re-signification.



## 1. INTRODUÇÃO

O campo de pesquisa que envolve a busca por novos materiais vem crescendo a partir de uma ótica interdisciplinar, permitindo a integração de áreas diversas, entre elas o campo do design, que segundo Dias (2009) pode contribuir mediante três abordagens: 1) design de produtos, auxiliando as equipes multidisciplinares a compreender as demandas necessárias à produção dos artefatos; 2) design de superfícies, buscando materiais que contribuam com novas experiências sensoriais; e 3) “design de materiais”, participando de modo mais efetivo do processo de desenvolvimento de novos materiais. Essas abordagens permitem que o designer possa atuar desde a recomendação de materiais para a aplicação em produtos até a indicação de novas demandas para a área.

A demanda por novos materiais pode surgir, no campo do design, a partir da observação das necessidades ou oportunidades provenientes dos projetos de produtos e também, a partir de novas aspirações do consumidor. Estes fatores podem indicar tendências para o futuro, que por sua vez possam contribuir para pesquisas que permitam o desenvolvimento de novos materiais. Isto pode ser experimentado no contexto atual, quando se percebe que o crescimento do discurso acerca da sustentabilidade vem fomentando o desenvolvimento de novos materiais que sejam ao mesmo tempo menos danosos ao meio ambiente e atrativos aos olhos do consumidor.

As discussões sobre os danos causados pela adoção de materiais derivados do petróleo vêm se expandindo mediante problemáticas ambientais envolvidas no processo de fabricação e descarte de produtos. Neste contexto, vem se tornando relevante para o mercado pesquisas que visem o desenvolvimento de materiais alternativos, que atendam as demandas projetuais trazidas por autores como Manzini e Vezzoli (2011), que indicam para os projetos a “escolha dos materiais de baixo impacto ambiental”. Observa-se o crescimento de projetos de produtos que visam trazer consonância entre o consumir e a resiliência ambiental, que corresponde, segundo Vezzoli (2010), a dimensão ambiental da sustentabilidade.

Quanto aos consumidores pós-modernos, observa-se mudança na percepção de bem-estar, anteriormente pautado no consumo, e agora sendo alterado para a busca por hábitos mais sustentáveis, como pode-se comprovar a partir da pesquisa divulgada pelo Instituto Akatu (2018). Para Kazazian (2009) desde que o indivíduo começou a separar seu lixo, o mesmo começou a reconhecer seu papel na problemática ambiental. As novas

demandas surgem, assim, à níveis materiais e imateriais em prol de uma postura mais sustentável com estética mais atraente, imbuindo os novos materiais a contribuírem de forma positiva, permitindo que haja consonância entre a produção de artefatos e os estilos de vida almejados pela sociedade.

Neste cenário, é possível encontrar esforços no desenvolvimento de novos materiais menos danosos ao meio ambiente que atraíam a atenção e desejo dos consumidores. O reflexo disso no design pode ser visto através da ampliação do leque de alternativas de novos materiais que estimulam a produção e consumo mais consciente. Já é possível encontrar produtos que adotem para sua confecção materiais que empreguem fibras de fontes naturais, como o bambu, cânhamo, frutos, abacaxi, coco, entre outros, que podem fazer parte massiva do material ou podem ser utilizadas para estruturar compósitos, também conhecidos como “*fiber reinforced composites*”, em adição a esses reforços utiliza-se como matrizes a cerâmica, polímeros, mármore dentre outras alternativas.

A indústria vem adotando esses novos materiais para atingir um patamar mais sustentável. Para tal, vêm redefinindo suas estratégias de produção. A empresa de moda de luxo, Stella McCartney, por exemplo, busca provar a possibilidade criativa sem impactos desnecessários ao planeta, assim como a Ananas Anan, que fabrica artefatos de moda por meio de seu trabalho têxtil com base na fibra do abacaxi. Essas empresas, dentre outras, buscam a sustentabilidade desde a obtenção da matéria prima até a confecção do produto final, enfrentando o desafio da coerência ética sustentável em um contexto capitalista.

O cientista especializado em materiais, Andrew Dent (2012), comenta sobre os investimentos realizados no séc. XX para o desenvolvimento de materiais sintéticos similares aos naturais, expondo que já presenciamos um novo desafio para o século XXI. Na contemporaneidade ambiciona-se a utilização dos processos naturais para o desenvolvimento dos novos materiais. O cientista exemplifica sua constatação por meio de produtos em fase de experimentação, entre eles a jaqueta biodegradável e o bloco de cogumelos (Figura 01). A jaqueta tem crescimento em uma banheira, é composta por chá açucarado e bactéria, dando forma ao tecido experimental. O bloco de cogumelos é utilizado para isolamento em paredes e instalações, cresce no escuro em sete dias, tem propriedades similares ao poliestireno expandido. Ambos materiais citados têm características físicas similares e podem ser utilizados para as mesmas finalidades.



Figura 01 – Jaqueta de chá e bloco de cogumelo  
Fonte: youtube. Andrew Dent (2012)

Neste artigo objetiva-se apresentar a atuação do design junto a área dos materiais, a partir de uma pesquisa desenvolvida com o coco nucífera, que apresenta expressivo volume de produção no país - Brasil, bem como altos níveis de exportação. O descarte do fruto é uma temática que vem sendo abordada devido a atenção ao destino residual, onde há carência de dados mais expressivos acerca do que é feito com o volume descartado. Mesmo sendo um material orgânico a irregularidade no descarte pode acarretar problemas à fauna e flora, gerando poluição visual urbana, mas principalmente, podendo causar a proliferação de vetores indesejáveis, trazendo riscos à saúde.

Considerando o expressivo volume do fruto no país e no mundo, pode-se notar um potencial para o reaproveitamento residual para o desenvolvimento de novos materiais, em especial a utilização de partes do coco que não são muito abordadas, considerando que a fibra, casca, biomassa, entre outras são mais exploradas. Além disto, entre os especialistas existe certa resistência às pesquisas com o pó do endocarpo. Andrzej (et al 2010) expõe a dificuldade de armazenagem, coleta, transporte e abordagens econômicas sobre esses resíduos. No entanto defende que essa área pode gerar novas oportunidades de mercado considerando os excedentes de baixo custo das safras do campo.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Os produtos são, geralmente, compostos por vários tipos de materiais que impactam o meio ambiente em diferentes níveis. Os danos ocorrem desde a extração, e se acumulam na transformação da matéria-prima, uso e descarte do produto pelo consumidor. (MANZINI e VEZZOLI, 2011).

Thompson (2015, p.12), expõe a importância do processo de seleção dos materiais para a sustentabilidade, pois é o momento em que se define os impactos que o produto causará ao meio ambiente. Para Manzini e Vezzoli (2011), no momento da escolha dos materiais, pode ocorrer a minimização dos danos ambientais por meio da escolha de materiais que tragam aos produtos maior coerência com a resiliência do planeta.

Entre os materiais que trazem menor impacto estão os materiais naturais, isto ocorre segundo Thompson (2015, p.12), pois “os materiais naturais como madeira e fibras vegetais são manufaturados com pequeno processamento de matéria-prima”. A utilização de materiais naturais para materialização dos artefatos acompanha a história da humanidade por razões óbvias, mas, com o passar do tempo e desenvolvimento tecnológico, vem disputando espaço com os materiais sintéticos, que nas últimas décadas ganharam espaço considerável nos projetos de design. (LIMA, 2006).

Para Moraes (2010), a capacidade técnico-produtivo-fabril do século XX revolucionou os hábitos e costumes, mas foi incapaz de permear a ética ecológica e ambiental, fator que começa a ser alterado devido ao crescimento da problemática ambiental. Para Lima (2006), com o crescimento dos problemas ambientais, outras abordagens mais inovadoras vêm sendo adotadas para os materiais naturais, resgatando seu valor para o design de produtos.

### 2.1. Material Driven Design

Embora o design e a indústria de materiais estejam tornando-se profundamente engajados no desafio de atingir a funcionalidade e significação do material, não existem muitos métodos sistemáticos, até a presente data, que permitam a definição e projeção para experiências com novos materiais quando este é o foco no início do projeto. (Karana et al, apud Jordan et al., 2013; Knauer, 2014. grifo nosso)

O *Material Driven Design*, elaborado por Elvin Karana, Bahareh Barati, Valentina Rognoli, & Anouk Zeeuw van der Laan, visa fornecer suporte à designers na definição de um projeto que aborda experiências significativas tendo como ponto de partida um determinado material. Neste modelo, não só o caráter técnico do material é contemplado, mais também a dimensão imaterial, permitindo qualificá-lo pelo o que pode proporcionar, expressar, e elucidar aos usuários, e que ação estimula. (KARANA, E. et al, 2015. 37).

O *Material Driven Design* - MMD, aponta três possíveis cenários de ponto de partida: materiais já conhecidos (amostragem já definida e contextos estabelecidos); relativamente desconhecidos (amostragens definidas, mas contextos a serem estabelecidos) e proposta de novo material (amostras não definidas). (KARANA, E. et al, 2015. p 39). Sendo o terceiro cenário mais adequado para a pesquisa aqui desenvolvida.

A metodologia expõe a existência de estudos conduzidos que proporcionaram informações acerca da forma como as pessoas interagem com os materiais, e as respectivas atribuições de valor e espectros emocionais que advêm de tal interação.

Não desconsiderando os estudos preliminares, o MDD busca suprir a carência de um método projetual, objetivado proporcionar experiências; considerando estágios elementares como a composição material até o estágio final de aplicação dele ao mercado. (KARANA, E. et al, 2015, p 35).

O método é composto por quatro fases que estimulam a investigação técnica e a significação material como ponto de partida do desenvolvimento projetual. O usuário final também integra o processo, e permite ao designer buscar intensificar as experiências através dos materiais de um produto. Dessa forma, o profissional prevê o papel de um material na criação para uma superioridade funcional, e o contexto social (mais amplo) que o produto final será inserido (KARANA, E. et al, 2015, p 37).

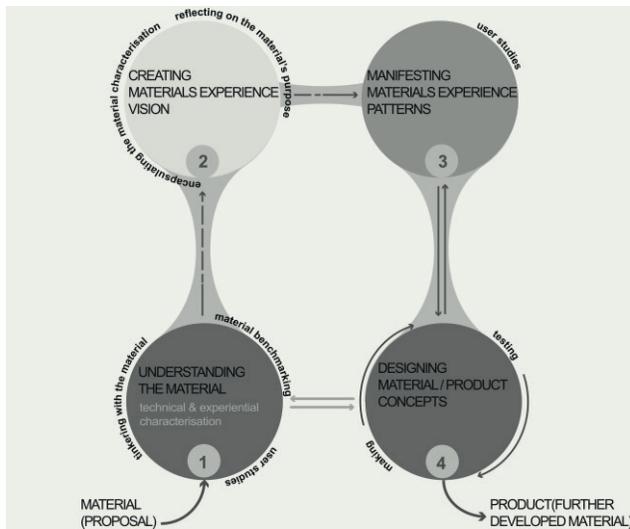


Figura 02 – Corte Longitudinal do Coco  
Fonte: Karana et al 2015

Nesse contexto, o artigo aponta a busca dos autores por um método que possibilitasse adequar as demandas práticas do design com aspectos intangíveis, que cativassem a apreciação e trouxessem como efeito a experiência de um produto além de sua assistência utilitária.

Materiais têm sido o ponto central de pesquisas e práticas há décadas nas agendas do design de produto (KARANA, E. et al, 2015). Considerando as evoluções do mercado, e em estímulo às investigações de novos materiais, foi proposto o uso de uma metodologia que substanciou o desenvolvimento de um material que permitisse experiências significativas ao usuário. O endocarpo do coco foi escolhido inicialmente por ser resíduo passível de uma produção artesanal.

## 2.2. Matéria-prima: coco Nucifera

De acordo com o IBGE, de 2013 a 2017, o Brasil tem média de 243.671 Hectares destinada à colheita de coco. Em 2016 a área destinada foi de 234.726 Hectares no país, sendo que o nordeste representou a área de 194.872 e o sul 213 hectares. Em questões de rendimento médio da produção por estados de 2014 à 2016 Pernambuco teve média de 18.397 quilogramas de coco por hectare, em 2016 apresentando 19.679kg/ha. Minas gerais, Piauí e Tocantins seguem o ranque de Kg/ha no ano de 2016 com valores de 16788, 14424 e 14298, respectivamente. Salum (et al 2016) apresenta o volume de água de coco importado pelos Estados Unidos, que em 2014 foi de 288.537, 38% de origem brasileira e 32% tailandesa.

A casca do coco verde *Cocos nucifera*, é um resíduo agrícola com alto potencial de aproveitamento, mas com poucas ações de reaproveitamento implantadas no Brasil. Segundo Rosa et al. (2001), de 80% a 85% do peso bruto do coco verde é considerado lixo. Embora orgânico, o resíduo do coco é de difícil degradação e demora mais de oito anos para se decompor completamente” (CARRIJO et al., 2002).

A adaptabilidade da planta foi expressiva no território nacional, o cultivo do coqueiro, *Cocos nucifera* L., é considerado por alguns, uma das atividades agrícolas mais importantes, gerando emprego e renda, além de fonte nutricional na alimentação. A partir desta planta, são obtidos mais de 100 subprodutos (Cuenca (1997). Considerando o consumo do fruto, pode-se apontar que além do líquido, consome-se o albúmen sólido, parte comestível do fruto. Carrijo (2002) destaca que essas partes representam de 15% à 20% do que é consumido, sendo de 80% a 85% do peso bruto considerada lixo.



Figura 03 – Corte Longitudinal do Coco  
Fonte: GONÇALVES, STEPHANIE ASSUNÇÃO. 2016

Autores como Manzini (2015) e Andrew Dent (2012) defendem veementemente as inovações sociais. O primeiro aponta que uma sociedade que integra novas tecnologias estimula pessoas à projetarem e solucionar problemas de maneiras diferentes; e o segundo ressalta a nova revolução industrial que seria a adequação dos processos industriais às necessidades da sustentabilidade ambiental. Nessa dinâmica a abordagem com o coco torna-se um potencial gerador de renda em larga escala ao comércio local e reflete beneficamente à natureza.

Para desenvolvimento do material proveniente do pó do coco nucifera, foram realizados experimentos artesanais com diferentes materiais. Ao final, utilizou-se como medidor um copo de café de 50ml, que permitiu a mistura de uma proporção de 1/1, de pó e cola PVA (polímero sintético) da marca NorCola, que foi utilizada como ligante. Entende-se, no entanto, que o ligante não tem o mesmo teor sustentável apresentado pelo pó do coco, exigindo posteriores testes sobre o impacto ambiental, mas o foco da pesquisa estava no reaproveitamento do resíduo, o que foi atingido mediante o experimento. Neste momento, foram importantes a integração entre a visão mecânica e a ambiental inerente a cada integrante da equipe, que agiram de forma complementar para o projeto. A figura 04 expõe uma caixa de óculos desenvolvida para aplicação do novo material.



Figura 04 – Aplicação após o período de experimentos  
Fonte: Autores com base na pesquisa realizada

### 3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O método, baseado no modelo exposto -MMD, foi desenvolvido em três fases:

FASE 1	Caracterização técnica	
	ETAPA 1	Testes de propriedades
	ETAPA 2	Benchmarking
FASE 2	Visualização da experiência	
	Entrevista com 10 indivíduos	
FASE 3	Aplicação em artefatos	

Quadro 1 – Síntese dos métodos

Fonte: Autores com base na pesquisa realizada

#### 3.1. Fase 1: Caracterização Técnica

Esta fase se inicia com a etapa que inclui a experimentação do material em busca de insights nas propriedades técnicas, mecânicas, e como este pode ser modelado em um produto (KARANA, E., et al 2015). A avaliação preliminar consistiu em testes de resistência à água e inflamabilidade, realizados de maneira empírica.

O contato com água se deu através da imersão total do material em um recipiente com água. Ao fim de cada dia o material foi observado e manuseado para identificar alterações na sua estrutura. O teste de inflamabilidade foi realizado com uma chama de isqueiro em contato constante ao material, buscando identificar se haveria uma combustão contínua. Em sequência foi realizado o teste de tensão e ruptura, em Laboratório com equipamentos específicos seguindo as normas e padrões técnicos.

Na segunda etapa desta fase 1, ocorreu o *Benchmarking*, que buscou revelar estratégias, e/ou valores em crescente ênfase na área do design nas últimas décadas (por exemplo: no campo da sustentabilidade, *credle to credle*, *slow technology* etc). (KARANA, E., et al 2015).

#### 3.2. Fase 2: Visualização da Experiência do Material

Na execução da fase 2, a equipe respondeu ao questionário proposto pelo método MMD, para apontar as características identificadas e inserir o material no contexto apropriado. As questões propostas pelo método são as seguintes:

Questionário 01 (Especialistas - membros da equipe de design):

1. Quais são as principais propriedades técnicas do material
2. Quais são as restrições/oportunidades do material?
3. Com quais outros materiais poderia ser combinado? (Quais outros materiais poderiam ser utilizados como ponto de partida?)

4. Quais são os processos de transformação (fabricação/produção) mais convenientes para o material?
5. Em que contexto o Material pode ser inserido?

Além disso, foi realizado um feedback com os possíveis usuários a partir de entrevistas semiestruturadas. A experiência com o usuário, busca explorar a receptividade, e avaliar a apreciação deste (por exemplo: percepções estéticas, significados e emoções) assim como que ação invoca aos mesmos (KARANA, E., et al 2015).

Foram entrevistadas 10 pessoas, sendo 05 homens e 05 mulheres, entre 17 e 35 anos. As entrevistas ocorreram na cidade de Rio Tinto, onde situa-se o campus de Design da UFPB. As questões seguiram o modelo proposto pelo MDD (KARANA, E., et al 2015), em busca de acessar percepções técnicas, estéticas e simbólicas mediante repertório dos usuários. Os questionamentos, objetivam situar e enfatizar indicações para material, posicionando-o em um contexto específico e até apontando o papel do material em um contexto mais amplo (KARANA, E., et al 2015). As questões direcionadas aos possíveis usuários foram as seguintes:

Questionário 02 (não especialistas):

1. Quais as qualidades sensoriais únicas do material?
2. Quais as qualidades sensoriais mais e menos agradáveis?
3. O material é associado a outros por conta de sua estética semelhante?
4. Como a pessoa descreve o material, e que significados evoca?
5. Provoca emoções particulares nos usuários?

E uma última observação que foi registrada por parte dos discentes colaboradores do projeto, acerca da forma como os usuários interagiram com o material.

Essa etapa foi muito importante, mas conteve falha no que tange às expressões linguísticas utilizadas inicialmente no questionário. As questões estavam claras para quem entrevistava, no entanto como os usuários não estavam ambientados com a pesquisa, foi necessário adequar as expressões, como substituir palavras e também estimular a criatividade nas respostas, tomando sempre cuidado para não tornar a entrevista tendenciosa.

Em relação à documentação, aponta-se que futuramente deve-se ser realizado o registro em áudio e ou vídeo, visto que a primeira momento foram realizados apenas em papel. Destaca-se que o registro poderia ser mais completo, principalmente para acesso posterior. Além disto, para pesquisas futuras com o material pretende-se aumentar a quantidade de pessoas participantes para solidificar as visões acerca do material.

### 3.3. Fase 3: Aplicações em Artefatos

Na continuidade do processo, com os dados fornecidos nas fases anteriores, se iniciou a fase referente ao processo de design, que por sugestão de similaridade do material com o couro, permitiu o desenvolvimento de alguns modelos de bolsa, pensadas para a introdução do novo material. Foi adotado o método de Simões (2010) desenvolvido em seu doutorado.

Vale ressaltar que a temática de reaproveitamento material e *upcycling* foram utilizados tendo como referência a empresa *PreLoved*, uma indústria canadense que trabalha a desconstrução de vestuários advindos da indústria e a construção de uma nova abordagem com esses resíduos. O objetivo é aquele de materializar uma minicolecção com materiais têxteis residuais e introduzir a pele vegetal sem que houvesse muito impacto visual ao consumidor.

## 4. RESULTADOS

A seguir serão apresentados os resultados de cada fase individualmente, para facilitar a compreensão do método adotado.

### 4.1. Fase 1: Características Técnicas do coco Nucifera

#### 4.1.1. Etapa 1: propriedades do material

A avaliação preliminar consistiu em testes de resistência à água e inflamabilidade. O material apresentou baixa resistência à água, considerando que iniciou a apresentar textura viscosa após 03 dias imerso em água. Quanto ao teste de resistência ao calor, o material foi considerado de alta inflamabilidade, visto que, ao se aproximar da chama, mesmo quando ainda não se encontrava em contato direto com ela, apresentou aumento de temperatura, que propiciou a deformação do material. Quando o contato se deu de maneira direta, após cerca de 6 s, o material entrou em combustão, só cessando após a equipe ter apagar o fogo.

Em sequência foi realizado em laboratório o teste de tensão e ruptura, com equipamentos específicos e seguindo as normas e padrões técnicos exigidos, como observa-se nas imagens a seguir:



**Figura 05** – Corte dos corpos de teste e execução do teste de tração. Máquina utilizada no teste: Emic Célula: Trd 23 Data: 27/09/2017 Fora:14:27:48 Trabalho nº:1088. Programa: Teso Versão 3.84 Método de Ensaio ASTM D638 Tensão de Ruptura Sem Extensômetro.

Fonte: Acervo do autor

Os resultados alcançados foram os seguintes:

Corpo de Prova	Força Máxima (kgf)	Tensão Máxima (Mpa)	Tensão de ruptura (Mpa)	Alongamento (%)	Módulo elástico (Mpa)
1	7,53	2,54	1,24	72,21	12,05
2	0,75	0,11	0,11	1,40	10,03
3	9,25	3,02	1,50	73,50	12,81
4	7,90	2,69	2,16	75,44	13,09
5	8,95	3,05	2,14	74,38	13,04

**Quadro 04** – Resultados do Teste de Tração  
 Fonte: Acervo do autor

Observou-se que a falta de uniformidade dos corpos, bolhas de ar geradas no processo de secagem e densidade foram fatores que influenciaram no resultado. Os experimentos com o pó, quando não homogeneizados à matriz, geram fragilidade ao material após secagem. O pó de casca de coco apresenta propriedades admiráveis em comparação com outros materiais, tais como baixo custo, seu caráter renovável, resistência em relação de peso, baixa densidade e em misturas com resina potencializa a redução de porosidade, gera menos abrasão para máquinas e menos danos ao meio ambiente. (SOMASHEKHAR et. al 2018)

#### 4.1.2. Etapa 2: benchmarking

Nesta etapa foram realizados levantamentos para compreender como materiais similares foram utilizados no campo do design de produtos, realizando-se um levantamento por meio de buscas na internet e sites especializados, o que gerou o quadro a seguir:

Imagem do produto	Empresa	Explicação acerca da aplicação do material
	Mother board	Fungos e processo de impressão 3D.
	Zerezes	Óculos de serra-gem de madeira e óleo de mamona
	Danielle Trofe	LightDesign e cogumelos

	Tesktur	Placa Compósita de papéis e resina para design de interiores
	Mercedes Benz	Aplicação automotiva linho, cânhamo, sisal, lã. e outras fibras naturais em 50 componentes
	Erick Larenbeek	Utensílios a partir de algas

**Quadro 05** – Benchmarking  
 Fonte: Autor com base na pesquisa realizada

A similaridade entre as propostas apresentadas está no reaproveitamento. A pele vegetal se conecta estrategicamente às possibilidades conceituais e de construção estrutural apontadas pela Mother Load e Erick Larenbeek, considerando a visão de incentivar o contato e discussão acerca dos materiais. Insere-se também em aspectos mercadológicos; o pó associado à resina ou outras matrizes tem potencial de gerar alternativas, e a abordagem com light design é um possível meio de abordar o material.

As alternativas apresentadas, assim como a imagem introduzida por Dent (2012) anteriormente na Figura 01 são exemplos desse macro cenário no qual o novo material se insere. Com essa breve análise podemos intencional e estimular o imaginário do leitor acerca das possibilidades de reaproveitamento residual, e os múltiplos resultados advindos dessas atividades, reproduzindo aspectos conceituais (avantgarde) e alternativas mais concretas.

Na pesquisa, se destacou como temática o reaproveitamento material e *upcycling*, referências da empresa PreLoved. Uma indústria canadense que trabalha a desconstrução de vestuários advindos da indústria e a construção de uma nova abordagem com esses resíduos.

#### 4.2. Fase 2: Experiência do usuário sobre o material

Inicialmente a equipe de design respondeu ao questionário 01, acerca do material, considerando a forma que o viam e entendiam pertinente a aplicações. As respostas foram compiladas a seguir:

1. Flexibilidade mecânica, em uma das faces o toque suave e liso e em outra face a textura áspera, na moldagem e secagem o material se conforma a qualquer molde, sendo ele flexível de superfície lisa, porém é bastante frágil a umidades e contato direto com água.

2. As restrições são a fragilidade inicial identificada ao contato com água; a oportunidade identificada é a possibilidade de introdução desse material em um contexto próprio à sua fragilidade. Além disso o potencial de utilizar os aspectos rústico e soft do material expande os potenciais de aplicação.
3. A combinação a esse material poderia ser de fibras, outros pós, pigmentos; assim como outras possibilidades de matrizes, possibilitando a obtenção de mais propriedades.
4. A fabricação envolveria maquinário para transformação do endocarpo em pó, assim como uma batedeira para a mistura homogênea. O material pode secar ao ar livre, mas uma estufa pode acelerar o processo e impedir possíveis interferências por conta da alteração de umidade. e possíveis
5. O material se insere em um cenário socioambiental por ser biodegradável; a total reutilização da matéria prima é a maior contribuição; apontando possibilidades para o excedente agrícola.

O questionário 02 aplicado à entrevista com 10 possíveis usuários que indicaram, com relação a características sensoriais, que a superfície lisa era mais apreciada devido uniformidade, diferente do verso do material, que foi percebida com um aspecto menos agradável, pela sua característica rugosa e áspera.

O material foi associado ao couro e inserido em um contexto retrô/rústico, assim explicitado pelos entrevistados. A emoção de surpresa foi unânime principalmente após saber a composição da amostra. Sobre a observação dos usuários com o material, todos interagiram inicialmente com o toque, e olfato, somente um usou o paladar para se aventurar no momento da entrevista.

O primeiro contato dos usuários com o material ocorreu através da visão, porém com os olhos fechados, para gradativamente usarem os demais sentidos. Primeiro tocaram, em sequência cheiraram, e alguns usuários também usaram a língua para fazer essa interação.

Um dos aspectos mais apontados foi a flexibilidade e o brilho da superfície lisa, a similaridade visual com o couro atraiu os usuários. A face mais crespa (do tecido de linho) remeteu a um contexto rústico e aplicações dessa natureza.

A apresentação do material foi definida na perspectiva de inseri-lo em um cenário de incentivo socioambiental, por seu caráter de transformação dos resíduos sólidos. Como uma das premissas

apresentada, foi que, uma das grandes contribuições que esse novo material poderia oferecer seria, o estímulo às investigações e aplicações industriais envolvendo resíduos sólidos

Mesmo não interagindo bem em meio aquoso, o material foi bem aceito pelo público, destacando o interesse em conhecer e suportar projetos em que o design traga soluções menos danosas à natureza, e principalmente projetos que estimulem o diálogo relacionado à novas formas de ver o consumo, descarte e o resíduo.

#### 4.3. Fase 3: Aplicações em Artefatos

Na continuidade do processo, com os dados fornecidos nas fases anteriores, se iniciou a fase 3, referente ao processo de design, que por sugestões anteriores de similaridade com o couro, permitiu o desenvolvimento de alguns modelos de bolsa, pensadas para a introdução desse material.

A temática de reaproveitamento material e *upcycling* foram referências da empresa *PreLoved*. Uma indústria canadense que trabalha a desconstrução de vestuários advindos da indústria e a construção de uma nova abordagem com esses resíduos. O objetivo foi de materializar uma minicolecção com materiais têxteis residuais e introduzir a “pele vegetal” vegetal desenvolvida sem que houvesse muito impacto visual ao consumidor.



Figura 06 – A placa de “Pele Vegetal”  
Fonte: Acervo autor

Para o processo de desenvolvimento da minicolecção, foi adotado o método de Simões (2010) desenvolvido em seu doutorado. O método aborda a produção de uma coleção de moda, considerando as seguintes etapas: mês de lançamento, tempo de comercialização, dimensão da coleção, variedade de estilos, variedade de produtos, tendências, conceito, cores e materiais, elemento de estilo e por fim a criação.



Figura 07 – Metodologia Simões  
 Fonte: Danielle Simões 2010

Em proposta ilustrativa pretende-se introduzir uma minicollection de acessórios; modelos limitados de bolsas à pessoas interessadas no contexto do resíduo como input projetual. Mesmo sem a intenção de determinar rigidamente o público, as peças tiveram como orientação de criação as percepções clássica, casual e vanguarda/fashion.

Essa proposta de comercialização diverge da tradicional abordagem sazonal existente, aponta-se o desenvolvimento de coleções nos meses de fevereiro, maio, junho e dezembro, com comercializações durante 20 dias. Nos demais meses os trabalhos personalizados proverão a maior porcentagem do *income* orçamentário; e lançamentos de coleções relâmpagos voltadas a datas comemorativas somarão às estimativas.

O mês de Julho foi previsto ao lançamento da coleção; que tem previsão de comercialização dos dias 06 a 26 do mês. Além dos padrões e necessidades econômicas, a intenção, nessa proposta era apresentar uma marca que buscasse uma produção de alta qualidade, luxuosa; que toque no consumidor em relação às reais necessidades de consumo e principalmente, as possibilidades industriais proporcionadas pela busca da ressignificação residual.

Foram desenvolvidos conceitos com vistas a utilização no material desenvolvido, definido como “couro vegetal” e os dados fornecidos pelo método de Simões (2010), o que favoreceu o desenvolvimento dos sketches a seguir:

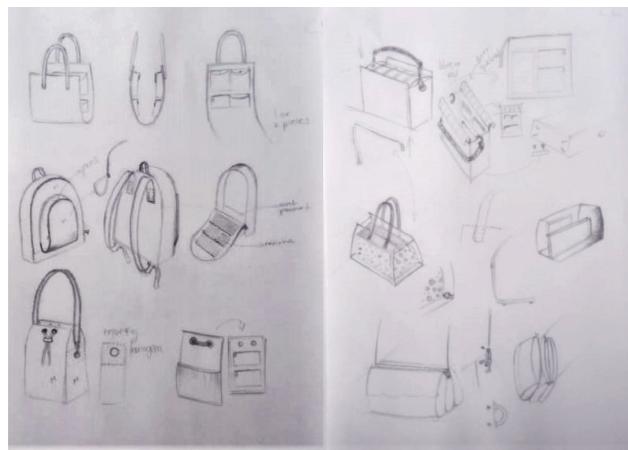


Figura 08 – Sketches  
 Fonte: Autor

Após desenvolvimento dos conceitos foram realizadas seleções que permitiram o desenvolvimento de uma minicollection com uso do material novo “couro vegetal”, que foi produzido pela equipe, como pode-se observar a seguir:



Figura 09 – Modelo desenvolvido  
 Fonte: Autor



**Figura 10** – Formas de Uso  
**Fonte:** Autor

## 5. CONCLUSÃO

O incentivo à experimentação e produção de novos materiais e tentativa de apresentar abordagens menos danosas ao meio ambiente são ações desafiadoras, e podem representar pesquisas de grande valia, não somente ambiental mas com alto valor econômico e social.

O desafio de introduzir um novo material nos moldes e modelos aplicados foi alcançado. A perspectiva de atração visual e de desejo pelos usuários também foram perceptíveis. Uma proposta de artefato foi confeccionada, no entanto esse novo material necessita de um maior aprimoramento nos aspectos tecnológicos. Realizar novos testes de engenharia de materiais para se entender na cadeia completa do sistema socioambiental, por exemplo: entender o tempo de desintegração por meio do teste de compostagem ou outros modelos, qual a melhor compatibilidade deste material com outros agregados e assim por diante.

A temática da sustentabilidade, deve cada vez mais abordar com maior ênfase a fase de análises, já que por vezes o designer necessita conhecer um pouco mais sobre como se aproximar da engenharia de materiais, e poder assumir o compromisso de pesquisar dados quantitativos e qualitativos para validar seus estudos. Essa dinâmica aponta a oportunidade de reconhecer as diferentes áreas do conhecimento que podem dialogar com o design nos diferentes projetos.

É um fato que a falta de conhecimento preliminar dos designers sobre aspectos relevantes do desenvolvimento de novos materiais, e busca de novas oportunidades dificulta bastante as definições sobre a abordagem das

composições e possíveis testes. No entanto é válido e torna-se viável considerando os fins propostos pelo método, onde a interação com usuário despertou a curiosidade acerca dos materiais compósitos, podendo eles experimentar e vivenciar novas texturas a serem introduzidas e as experiências com novos materiais. No entanto, considerando o fator tecnológico, o artefato pode ser associado à outras matrizes, e até mesmo sofrer intervenções químicas, podendo gerar um corpo de teste com características mecânicas mais resistentes.

É válido ressaltar e fazer essa analogia, que uma folha de papel, em si é muito frágil pois é hidrófila, fácil de rasgar, e não volta ao seu estado natural ao ser amassado, mas, as pessoas não deixam de usá-lo. Esse tecido com o pó obtido com as fibras do coco, possui fragilidades únicas, e suas potencialidades incluem as texturas e tipos de uma nova superfície, e apesar do tempo longo de secagem, é possível continuar a dar sequência a novas pesquisas, usando ferramentas mais precisas para gerar uma maior diversidade de suas aplicações.

## AGRADECIMENTOS

A Elianeide Ramos e Mariane Ramos, pelo suporte. Matheus Martins por todo o conhecimento empírico e teórico construídos. A UFPB e todos que contribuíram com essa proposta, e aos novos companheiros do PPGD da UFPE.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Márcio Rogers Melo. **Relatório de avaliação dos impactos das tecnologias geradas pela Embrapa Sistema Alternativo de Produção de Coco Aracaju/SE**. 2018. Disponível em: <[https://bs.sede.embrapa.br/2017/relatorios/tabuleiroscoqueiros\\_2017\\_producaococo.pdf](https://bs.sede.embrapa.br/2017/relatorios/tabuleiroscoqueiros_2017_producaococo.pdf)>

BŁĘDZKI, Andrzej K. **Barley Husk Coconut shell reinforced polypropylene composites: The effect of fibre physical, chemical and surface properties**. Composites Science and Technology. 2010. p 840-846.

CARRIJO, O.A.; LIZ, R.S.; MAKISHIMA, N. (2002). **Fibra da casca do coco verde como substrato agrícola**. Horticultura Brasileira, Brasília, v. 20, n. 4, p. 533-535, dezembro

CUENCA, M.A.G. (1997). **Importância econômica do coqueiro**. In: FERREIRA, J.M.S.; WARWICK, D.R.N.; SIQUEIRA, L.A. (Ed.). A cultura do coqueiro no Brasil. 2. ed. Brasília: EMBRAPA-SPI. p. 17-56.

DENT, Andrew. **Material Innovation Now**. TEDx Grand Rapids. 2012. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=VypvSWsdHws>>

DIAS, M. R. A. C. **Percepção dos materiais pelos usuários: modelo de avaliação Permatius**. 2009. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento, PPGECC, UFSC, Florianópolis.

EMBRAPA. **Beneficiamento da casca de coco verde para a produção de fibra e pó**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agroindustria-tropical/busca-de-produtos-processos-e-servicos/-/produto-servico/33/beneficiamento-da-casca-de-coco-verde-para-a-producao-de-fibra-e-po>>

Ezio Manzini: **Design, When Everybody Designs**. 2015. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=Ap-vE53CdFI&t=462s>>

KARANA, E., Barati, B., ROGNOLI, V., & ZEEUW van der Laan, A. 2015. **Material driven design (MDD): A method to design for material experiences**. International Journal of Design, 9(2), 35-54.

LIMA, M. A. M. **Introdução aos materiais e processos para designers**. Rio de Janeiro: Ciência moderna, 2006.

MANZINI, Ezio; VEZZOLI, Carlo. **O desenvolvimento de Produtos Sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais**. 1 ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2011. 366 p. ISBN 978-85-314-0731-4.

ROSA, M.F; SANTOS, F.J.S.; MONTENEGRO, A.A.T.; ABREU, F.A.P.; CORREIA, D; ARAUJO, F.B.S.; NORÔES, E.R.V. (2001) Caracterização do pó da casca de coco verde usado como substrato agrícola. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 6 p.

SALUM, UronN; PRADES, Alexia; PIOCH, Daniel. **New era for the coconut sector. What prospects for research?** 2016. OCL - Oilseeds and Fats, Crops and Lipids. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/311454313\\_New\\_era\\_for\\_the\\_coconut\\_sector\\_What\\_prospects\\_for\\_research](https://www.researchgate.net/publication/311454313_New_era_for_the_coconut_sector_What_prospects_for_research)>

SIMÕES, Danielle S.; de Nóbrega Waechter, Hans. **Procedimentos metodológicos para criação de coleções para o pólo de confecções do agreste de Pernambuco**. 2010. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Design, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

T M SOMASHEKHAR et al. **Study of Mechanical Properties of Coconut Shell Powder and Tamarind Shell Powder Reinforced with Epoxy Composites** 2018. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 376 012105

VEZZOLI, Carlo. **Design de sistemas para a sustentabilidade**. 1 ed. Salvador: EDUFBA, 2010. 342 p. ISBN 978-85-232-0722-9

## AUTORES

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1449-2726>

**MARCELO VICENTE DA SILVA JUNIOR** | Universidade Federal de Pernambuco | Programa de Pós-graduação em Design | Recife, PERNAMBUCO (PE) - Brasil | Correspondência para: Rua João Dias Martins, 73, aptº302 - Boa Viagem, Recife - PE, 51021-540 | Email: [mvmarcelovicente@gmail.com](mailto:mvmarcelovicente@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4551-4497>

**AMILTON JOSÉ VIEIRA DE ARRUDA, PhD.** | Universidade Federal de Pernambuco | Programa de Pós-graduação em Design | Recife, PERNAMBUCO (PE) - Brasil | Correspondência para: R. General Adauto Gomes Barbosa, 94 Apt 302 - Várzea, Recife - PE, 50741-280 | E-mail: [arruda.amilton@gmail.com](mailto:arruda.amilton@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6963-5704>

**MATHEUS MARTINS** | Universidade Federal da Paraíba | Graduação em Design de Produto | Rio Tinto, PARAÍBA (PB) - Brasil | Correspondência para: Av. Baía dos Golfinhos, 88, Tibau do Sul, Pipa - RN, 59178-000 | Email: [mateuxfreeart@gmail.com](mailto:mateuxfreeart@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1323-2831>

**THAMYRES DE OLIVEIRA CLEMENTINO, MSc.** | Universidade Federal de Pernambuco | Programa de Pós-graduação em Design | Recife, PERNAMBUCO (PE) - Brasil | Correspondência para: R. Tv. Américo Carneiro, 301, Jardim 40, Campina Grande - PB, 58416-053 | E-mail: [thamyres.oliveira.clementino@gmail.com](mailto:thamyres.oliveira.clementino@gmail.com)

## COMO CITAR ESTE ARTIGO

VICENTE, Marcelo; ARRUDA, Amilton; MARTINS, Matheus; CLEMENTINO, Thamyres. *Pó do endocarpo do coco: Input no processo de design para experiência com materiais. MIX Sustentável, [S.l.], v. 5, n. 1, p. 85-96, mar-jun. 2019.* ISSN 24473073. Disponível em: <http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>. Acesso em: dia mês. ano. doi:<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2019.v5.n1.85-96>.

**DATA DE ENVIO:** 20/01/2019

**DATA DE ACEITE:** 19/03/2019

# CRITÉRIOS LOCACIONAIS COMO PRINCÍPIO PARA O CONCEITO DE DISTRITOS INDUSTRIAIS SUSTENTÁVEIS

*LOCAL CRITERIA AS A PRINCIPLE FOR THE CONCEPT OF SUSTAINABLE INDUSTRIAL DISTRICTS*

LEANDRO BITTENCOURT ÁVILA, MSc. | UNISINOS

ANDRÉ SOUZA SILVA, Dr. | UNISINOS

## RESUMO

No âmbito do planejamento urbano a acessibilidade e a mobilidade urbana são critérios fundamentais para a localização de distritos industriais sustentáveis. Atualmente, o sistema de vias apresenta problemas tanto de escoamento do fluxo de mercadorias quanto do movimento de veículos e pessoas, acarretando em prejuízos econômicos, sociais e ambientais para as cidades brasileiras. A escolha do ótimo locacional em distritos industriais sustentáveis exige que a análise contemple as características do meio natural e antrópico especialmente o sistema de vias. Logo, a pesquisa tem por objetivo contribuir na escolha de locais adequados para implantar distritos industriais sustentáveis por meio da acessibilidade e da mobilidade do espaço urbano, qualificando a tomada de decisão de gestores e planejadores urbanos e, fomentando a discussão sobre o tema. Foi utilizada como método a análise da literatura sobre planejamento urbano, aspectos socioeconômicos e ambientais e, a acessibilidade e a mobilidade urbana voltada à implantação de distritos industriais sustentáveis. Os resultados indicam a necessidade do planejamento urbano considerar os critérios de acessibilidade e mobilidade urbana, cujos impactos socioeconômicos e ambientais tendem a aumentar o custo na área de influência, tanto em termos de localização quanto de operacionalidade dos distritos industriais sustentáveis.

**PALAVRAS-CHAVE:** Acessibilidade; Mobilidade urbana; Distritos industriais; Planejamento urbano; Impacto socioeconômico e ambiental.

## ABSTRACT

*On urban planning, the urban accessibility and mobility are key criteria for locating sustainable industrial districts. Nowadays, the road systems present problems as in the flow of products as in the movement of vehicles and people, resulting in economic, social and environmental loss to Brazilian cities. The choice of the optimal locational of the sustainable industrial districts requires that the analysis contemplate the characteristics of the natural and anthropic environment especially the routes system. Thus, the present research is intended to contribute on choosing adequate locations on building industrial districts through accessibility and mobility of urban space, qualifying the decision making of urban managers and planners, so that to promote discussion about the referred topic. The analysis of the literature on urban planning, socioeconomic and environmental aspects, and accessibility and mobility in the implantation of sustainable industrial districts was used as a method. The results indicate the need for urban planning to consider the criteria of accessibility and urban mobility, whose socioeconomic and environmental impacts tend to increase the cost in the area of direct influence of the sustainable industrial districts, as in terms of localization as operationality.*

**KEYWORDS:** Accessibility; Urban mobility; Sustainable industrial districts; Urban planning; Socioeconomic and environmental impact.



## 1. INTRODUÇÃO

As cidades brasileiras, de um modo geral, se estruturam tradicionalmente em torno de uma ou mais áreas centrais com algumas indústrias capazes de potencializar as relações econômicas e sociais (CORRÊA, 2001 apud FRANÇA, 2011). Neste contexto, as indústrias se tornaram o vetor de impulso do crescimento econômico no Brasil, pois potencializam o desenvolvimento da produção de bens de capital, de consumo (duráveis e não duráveis), de serviços, e de contratação de mão de obra direta e/ou terceirizada. Contudo, gradativamente os efeitos resultantes deste processo de industrialização em disparidade à urbanização efetiva foi responsável:

[...] por um crescimento demográfico que extrapolou a capacidade de provimento adequado de infraestrutura urbana nas grandes cidades, ocasionando uma inserção precária ao urbano na medida em que a maior parte da população, caracterizada por possuir um menor poder aquisitivo, não teve a possibilidade de usufruir de uma qualidade de vida que garantisse, ao menos, o básico para se manter adequadamente (FRANÇA, 2011, p. 82).

As mudanças ocorridas no meio rural e urbano, no início do século XX, agregadas ao crescimento demográfico e ao surgimento de algumas indústrias, passaram a modificar o modelo urbano das cidades. Este processo de urbanização passou a ser “[...] mais complexo e influenciado pelos modelos e práticas urbanísticas do cenário europeu, [...], que procuravam adequar as antigas estruturas urbanas coloniais às premissas da modernidade” (LEITE, 2013, p. 51). Em decorrência, a urbanização tende a gerar impactos socioambientais devido a concentração de várias atividades num mesmo local, a exemplo dos distritos industriais sustentáveis que exigem maiores cuidados devido a ocupação do território e seus efeitos na área de influência do empreendimento (LEITE, 2013, p. 58).

A questão da localização de distritos industriais sustentáveis passa pelo planejamento urbano em termos dos aspectos legais, meio físico, biótico e antrópico (ocupação urbana e infraestrutura). Assim, como meio de prever o crescimento de “[...] um fenômeno ou de um processo e, a partir deste conhecimento, procurar se precaver contra problemas e dificuldades, ou ainda aproveitar melhor os possíveis benefícios [...]” (HOFFMANN et al., 2011, p. 3) o planejamento urbano está longe de poder resolver todos os problemas da cidade, porém a

sua falta pode ser percebida (BARBOSA; JÚNIOR, 2009), principalmente em relação aos problemas do movimento de mercadorias, veículos e pessoas (FRANÇA, 2011, p. 82).

Diante do que se expôs, a pesquisa contempla a discussão em torno dos critérios de acessibilidade e mobilidade urbana em termos do desenvolvimento econômico vinculado à indústria especificamente. A acessibilidade do sistema de vias, na medida em que organiza a vida cotidiana e a relação crescente entre os trajetos às atividades residenciais e não-residenciais da população (FRANÇA, 2011), proporciona maior agilidade da logística no sentido de escoamento da produção, baseado no critério de mobilidade urbana a qual é dependente das dimensões espaciais, territoriais e temporais. Tais critérios são fundamentais, pois (i) refletem diretamente nos custos das indústrias instaladas no local; (ii) minimizam os valores de transporte de matéria-prima, insumos e distribuição dos produtos; e, (iii) influenciam diretamente no aspecto social propiciando a facilidade do acesso da mão de obra.

A problemática do ótimo locacional, ao considerar os critérios de acessibilidade e mobilidade urbana, versa sobre a importância destes na determinação de áreas aptas à instalação dos distritos industriais sustentáveis e seus reflexos nos custos de operação de escoamento dos produtos e recebimento das matérias-primas. Para responder a tais questionamentos é utilizado como método a elaboração de quadros síntese de análise a partir da abordagem em torno da literatura sobre planejamento urbano, aspectos socioeconômico e ambiental e, a acessibilidade e a mobilidade urbana centrada na implantação de distritos industriais sustentáveis. Assim, a pesquisa tem por objetivo contribuir na tomada de decisão para a escolha de áreas adequadas para a implantação de distritos industriais sustentáveis, independentemente das especificidades das atividades desenvolvidas (tecnológica, química, metal-mecânica, etc).

## 2. FUNDAMENTAÇÃO

No Brasil, os arranjos produtivos locais – APL, em específico os novos distritos industriais são objeto de interesse, estudos e discussões, cujas responsabilidades e atribuições político-administrativas são inerentes aos Municípios, os quais são fundamentais no processo de desenvolvimento econômico local e regional (CÂMARA, 2013). Assim, em termos gerais, a implantação de distritos industriais sustentáveis no Brasil passa essencialmente pelos dispositivos da Constituição Federal, Estatuto da Cidade e o Guia Técnico para Implantação de Distritos Industriais. A Constituição Federal estabelece que o Plano Diretor deve ordenar o

pleno desenvolvimento da cidade de modo a garantir o bem-estar de seus habitantes. Indispensável (e obrigatório) para cidades com mais de vinte mil habitantes, o Plano Diretor é o instrumento básico da política de planejamento e expansão urbana (BRASIL, 1988). De modo complementar, o Estatuto da Cidade estabelece diretrizes gerais à política urbana, uso da propriedade urbana, segurança e bem-estar dos cidadãos e equilíbrio ambiental. Em relação ao Guia Técnico para Implantação de Distritos Industriais este propõe a necessidade de analisar a área pretendida, considerando a legislação urbana e ambiental, a localização e as características da área industrial (estrutura viária, planimetria da gleba, proximidade ou não do centro urbano, dimensionamento do distrito, meio natural e viabilidade de serviços de infraestrutura) (FIEPR, 2013).

A política de implantação de distritos industriais sustentáveis, em nível estadual ou municipal, requer a integração das políticas urbanas de gestão do território, desenvolvimento econômico e proteção ambiental. Os princípios locais de acessibilidade e mobilidade urbana trazem em seu escopo a questão ambiental decorrente do menor tempo de viagem dos veículos e consumo de combustíveis fósseis, resultando em menor impacto ambiental (emissões atmosféricas, geração de resíduos através da manutenção dos veículos dentre outros aspectos ambientais). Logo, a acessibilidade e a mobilidade urbana são importantes na determinação locacional dos distritos industriais sustentáveis, principalmente no trato dos impactos socioeconômicos e ambientais que serão analisados. Entretanto, as consequências de uma política urbana ineficaz e de uma quase ausência de medidas de planejamento urbano sobre as atividades de uso do solo, comprometem a acessibilidade e a mobilidade urbana (ALVES; JUNIOR, 2009). O aumento da frota veicular, por exemplo, principalmente do automóvel, promove alterações na operação e gestão do sistema viário e na intensificação dos impactos ambientais nas áreas urbanas, bem como os problemas relacionados à mobilidade urbana gerando:

(...) congestionamentos; conflitos entre diferentes modos de transportes; redução na segurança para pedestres; eliminação de parte de áreas verdes visando ampliar espaços para circulação e estacionamento de veículos; aumento no número de acidentes de trânsito e nos níveis de poluição sonora e do ar. Tais impactos comprometem, de alguma forma, a sustentabilidade urbana, a mobilidade, a acessibilidade, e o conforto espacial e ambiental, causando queda na qualidade de vida cidadina (ALVES; JUNIOR, 2009, p. 3).

Os impactos negativos do trânsito e do sistema de vias causam à sociedade prejuízos socioeconômicos e ambientais (FREIRE, 2008). Em decorrência, há um significativo dispêndio de tempo no movimento de mercadorias, veículos e pessoas, tais como o custo do combustível, a manutenção e depreciação dos veículos, as consequências da poluição visual, sonora e atmosférica, dentre outros (RESENDE; SOUSA, 2009).

(...) áreas com maior acessibilidade passam a sofrer maiores concentrações de atividades, que geram maior volume de viagens e por sua vez maiores conflitos de circulação, podendo dar início a processos de degradação de toda a área, dependendo do grau e intensidade dos conflitos (ANTP, 1997: 255).

### 3. DETERMINAÇÃO DOS CRITÉRIOS LOCAIONAIS E PRINCÍPIOS CONCEITUAIS

A aplicação do conceito de acessibilidade e de mobilidade urbana no planejamento urbano tem sido amplamente difundida e envolve conotações singulares, desde a distância entre pontos de uma área urbana, até conceitos complexos que consideram diferentes parâmetros (WERLE, 1999). No âmbito desta pesquisa, acessibilidade corresponde ao potencial de alcance das atividades e de interação das pessoas em decorrência do posicionamento relativo estabelecido no sistema de vias, enquanto que a mobilidade diz respeito a capacidade e quantidade de movimento possível de acordo com o modal de transporte utilizado (motorizado e não-motorizado) no sistema de vias (SILVA, 2010; FREIRE, 2008; ALVES; JUNIOR, 2009).

Desde o ponto de vista do conceito de sustentabilidade adotado (menor distância e dispêndio de tempo) a presente pesquisa fundamenta o critério de acessibilidade a partir dos estudos de base configuracional (HILLIER; HANSON, 1984; HILLIER et al, 1993; KRAFTA; 1992 e 1997; DESYLLAS; DUXBURY, 2000; FIGUEIREDO, 2004) os quais (Sintaxe Espacial, Linhas de Continuidade, Gráficos de Visibilidade, Centralidade Espacial) consideram que qualquer atividade residencial ou não-residencial é alcançável em razão da condição relacional de espaços abertos públicos do sistema de vias. Abrangem o menor número de variáveis possíveis para explicar o maior número de fenômenos urbanos sócio-espaciais vinculados à acessibilidade. Ou seja, a condição não-determinística, mas probabilística do nível de integração, conectividade e centralidade do sistema de vias influenciar o movimento de veículos e pessoas com relativa independência às demais influências do meio, tais como a distribuição,

concentração e potencial de atratividade das atividades residenciais e não-residenciais produtoras e atratoras de viagens; a mensuração das possibilidades de interface entre o espaço aberto público e as edificações; a diferença de metragem quadrada construída; a subutilização e condições de habitabilidade das edificações (SILVA, 2010).

Tradicionalmente, mobilidade é tida simplesmente como a habilidade de movimentar-se em decorrência das condições físicas e econômicas (VASCONCELLOS, 1998: 30). Parte-se do pressuposto, a partir desta visão, que o transporte motorizado ou não-motorizado tem por objetivo apenas “dinamizar a mobilidade”. O conceito tradicional de mobilidade denota eficiência de movimento. Admitindo-se variações na definição de mobilidade, Sales Filho (1997: 988) considera que a mobilidade está relacionada com os deslocamentos cotidianos das pessoas no espaço urbano, e que corresponde a uma medida de comportamento ou a um indicador de potencial. Isto significa maximizar a capacidade de movimento das pessoas e bens enquanto minimiza o custo. Na mobilidade além de se considerar a capacidade do deslocamento, faz-se necessário destacar o quanto tal capacidade de movimento é adequada às próprias necessidades da região. Então, a pouca acessibilidade e mobilidade a lugares, atividades necessárias ou estratégicas, coloca em confronto o equilíbrio e a integração social, devido ao acesso limitado a determinadas áreas e atividades, resultando em condição de desvantagem e exclusão (NIGRO, 2012).

A decisão locacional de implantar distritos industriais sustentáveis deve considerar a análise econômica a fim de maximizar os lucros e minimizar os custos de produção, bem como a questão ambiental de modo a controlar os riscos e os impactos destes empreendimentos no local (DA SILVA et al., 2005). Nesse sentido, o ótimo locacional para a implantação industrial é aquele preferencialmente (i) provido de infraestrutura; (ii) próximo a rodovias, ferrovias ou portos; (iii) com pouca densidade populacional; (iv) relativamente afastado das áreas centrais; e, (v) próximo a fontes de matéria prima e mão de obra qualificada (ÁLVAREZ et al., 2009). Tais fatores, intrinsecamente vinculados à acessibilidade e à mobilidade urbana, tendem a influenciar nos custos diretos e indiretos como de aquisição da área física, operacionalidade e logística (ZANINI, 1995; THOMPSON, 1966 apud BARETA; LIBERATO, 2008; HOFFMANN et al., 2011; 2007; GALVÃO, 2000; MIRANDA, 2013). Contudo, a ausência de planejamento urbano sobre as atividades de uso do solo pode afetar a acessibilidade, a mobilidade e a sustentabilidade urbana ocasionando problemas de ordem socioeconômica e ambiental (Quadro 1).

Impactos socioeconômicos e ambientais do planejamento urbano inconsistente
Congestionamentos
Conflitos entre diferentes modais
Insegurança dos pedestres
Redução de áreas verdes
Criação de novas áreas de circulação e estacionamentos
Acidentes de trânsito
Poluição atmosférica
Maior tempo de viagem e perda da produtividade do indivíduo
Exposição aos riscos e diminuição da qualidade de vida das pessoas
Problemas de saúde pública

**Quadro 1** – Problemas decorrentes da falta de planejamento urbano  
 Fonte: Original dos autores (2019).

Problemas decorrentes do planejamento urbano inconsistente (impactos socioeconômicos e ambientais) tendem a ser a causa e a consequência da localização dos distritos industriais sustentáveis, a qual deve ser considerada a partir dos critérios técnicos (Quadro 2).

Critérios de análise	
Socioeconômico	Ambiental
Maximizar lucros	Menor tempo de viagem dos veículos
Reduzir custos de produção	Redução do consumo de combustíveis fósseis
Minimizar riscos ambientais – AID*	Minimização do impacto ambiental
Próximos dos grandes centros	Emissões atmosféricas (gases e ruídos)
Afastar-se dos congestionamentos	Escassez dos recursos naturais (consumo de energia)
Evitar o alto custo dos terrenos	Geração de resíduos (manutenção dos veículos)
Baixa densidade populacional	Menor ocupação do território e menor utilização dos recursos naturais
Boa acessibilidade a vias	Menor tempo de viagem dos veículos e pessoas

**Quadro 2** – Critérios de análise de possíveis impactos  
 (\*) Área de influência direta do empreendimento  
 Fonte: Original dos autores (2019).

Torna-se importante contemplar os princípios de acessibilidade e mobilidade urbana quando da implantação de distritos industriais sustentáveis, além de considerar na avaliação prévia critérios como a integração e a conectividade do sistema de vias, distância da área central, tempo de deslocamento, faixas de manobras e (des)aceleração para veículos pesados, dentre outros (Quadro 3).

<b>Acessibilidade e mobilidade urbana</b>
Pouca acessibilidade a lugares, atividades necessárias ou estratégicas.
Coloca em confronto o equilíbrio e a integração social em virtude do acesso limitado a determinadas áreas e atividades, resultando em condição de desvantagem e exclusão.
Agilidade do recebimento e da expedição de mercadorias como a redução dos custos e aumento da competitividade.
Tempo gasto de deslocamento diário, resultando em deseconomia que contribui para a perda da competitividade da cidade.
Possibilidade de acesso a vias, ferrovias e portos.
Melhorar a mobilidade nos distritos industriais sustentáveis: (i) desempenho dos veículos pesados em acíves, em áreas que podem causar a redução da velocidade dos automóveis; (ii) diminuição da capacidade de escoamento da rodovia e um desempenho inferior aos veículos leves, que obrigam os automóveis que possuem melhor desempenho a mudarem de faixa ou fazerem.
Manobras constantemente, e criação de faixa exclusiva para o tráfego de veículos pesados.

**Quadro 3** – Critérios de análise da acessibilidade e mobilidade urbana  
**Fonte:** Original dos autores (2019).

De um modo geral, os critérios de acessibilidade e mobilidade urbana em distritos industriais sustentáveis estão, dentre outros fatores, diretamente vinculados: (i) ao transporte; (ii) a busca pela maior eficiência produtiva, ganhos de escala e competitividade no mercado; (iii) ao suprimento de matéria prima e transporte dos produtos; (iv) a natureza e amplitude das instalações; (v) aos custos dos terrenos; (vi) a disponibilidade de mão de obra; (vii) aos requisitos sanitários e higiênicos; e, (viii) aos fatores ambientais (FERREIRA, 2004).

Sendo a acessibilidade e a mobilidade urbana fatores que influenciam na agilidade do recebimento e expedição de mercadorias em termos de redução dos custos e aumento da competitividade, os congestionamentos urbanos, em contraponto, acarretam em deseconomias que contribuem para a *“perda da competitividade da cidade frente àquelas que tomaram a decisão de enfrentar a crise da mobilidade urbana”* (ALBANO, 1999; ZANINI, 1995; SMA/SP, 2013, p. 27). Assim, o planejamento urbano pode detectar quando os resultados benéficos da aglomeração (pessoas e veículos) podem ser ameaçados por impactos negativos na mobilidade urbana como os congestionamentos (FREIRE, 2008).

Em suma, a acessibilidade e a mobilidade urbana devem ser aferidas constantemente durante o uso e ocupação do solo e planejados previamente visando o crescimento da demanda pelo sistema de vias projetadas quando da necessidade de instalação de distritos industriais sustentáveis.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verificou-se que a acessibilidade e a mobilidade urbana são critérios primordiais na escolha de áreas aptas a instalação de futuros distritos industriais sustentáveis, pois impactam no custo do empreendimento, tanto na implantação quanto na operação, com reflexos diretos na economia, na sociedade e no meio ambiente. Assim, torna-se fundamental que o planejamento urbano contemple as variáveis e os critérios de análise apresentados e que a pesquisa sirva para fomentar a discussão sobre o tema, visando à melhoria do território urbano e seus reflexos na sociedade.

## REFERÊNCIAS

ALBANO, M. T. F. **Processo de Formulação do 2º Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental de Porto Alegre**. 187 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 1999.

ANTP - Associação Nacional dos Transportes Públicos. **Transporte humano. Cidades com qualidade de vida**. PIRES, A. B., VASCONCELLOS, E. A., SILVA, A. C. (Coord.). São Paulo: PW Gráficos e Editores Associados. 1997.

ALVES, P., JUNIOR, A. A. R. **Mobilidade e acessibilidade urbanas sustentáveis: a gestão da mobilidade no Brasil**. Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana - PPGU / Universidade Federal de São Carlos-UFSCar. São Paulo, 2009, 15 p. Disponível em: <<http://www.ambiente-augm.ufscar.br/uploads/A3-039.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

ÁLVAREZ, Y. R.; ROCHA, W. P.; GARCÍA, M. J. S.; DELGADO, M. G.; SENDRA, J. B. Herramienta para La Asignación Óptima de Usos Del Suelo. In: **II Congreso Internacional de Medida y Modelización de la Sostenibilidad**, Barcelona, Espanha: Departamento de Geografía de la Universidad de Alcalá, 2009, p. 1-13.

BARETA, L. **Análise Ambiental para implantação de distritos industriais com o uso de geoprocessamento no Município de São Leopoldo RS**. Dissertação (Mestrado em Geologia), Universidade do Vale dos Sinos. São Leopoldo/RS, 2007.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Texto constitucional promulgado em 5 de outubro de 1988, com alterações determinadas pela

Emendas Constitucionais de Revisão nº 1 a 6/94, pelas Emendas Constitucionais nº 1/92 a 82/2014 e pelo Decreto Legislativo nº 186/2008. Brasília: Senado Federal, Coordenação de Edições Técnicas, 2014, 480 p.

\_\_\_\_\_. **Lei 10.257, de 10 de Julho de 2001. Estatuto das Cidades.** Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/LEIS\\_2001/L10257.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10257.htm)>. Acesso em: 08 set. 2018.

\_\_\_\_\_. **CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA.** Resolução 03, de 28 de junho de 1990, que dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=100>>. Acesso em: 5 mai. 2018.

CÂMARA, R. L. M. **Governos locais e políticas de promoção econômica: uma análise da promoção econômica nos municípios brasileiros com população acima população acima de 50 mil habitantes.** Dissertação (Mestrado em Estudos Urbanos e Regionais), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2013.

DA SILVA, R. M.; VERONEZ, M. R.; THUM A. B.; DO CARMO, C. F. Analysis from viability for industrial district implantation inside the environmental protection area using GIS. In: **CIPA 2005, XX International Symposium**, Torino, Italy, 2005, p. 742-745.

DESYLLAS, J., DUXBURY, E. **Axial maps and visibility graph analysis: a comparison of their methodology and use in models of urban pedestrian movement.** London: Intelligent Space. Paper nº 27. (pp.: 1 – 13). 2000. Disponível em: <<http://www.intelligent-space.com/news/publications.htm>> Acesso em: 10 out. 2018.

ECOLOGUS Engenharia Consultiva Ltda e AGRAR Consultoria e Estudos Técnicos S/C Ltda. **Infraestruturas do Distrito Industrial de São João da Barra: relatório de Impacto Ambiental.** Rio de Janeiro, 124 p. Disponível em: <<http://ceivap.org.br/downloads/eia-rima-distrito-industrial-de-sao-joao-da-barra.pdf>>. Acesso em: 02 mai. 2018.

FRANÇA, C. F. S. **Acessibilidade e direito à cidade: estudo sobre a mobilidade espacial urbana dos moradores do Bairro Bom Jardim, Fortaleza - Ceará.** 158 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia. Fortaleza, Ceará, 2011.

FERREIRA, M. **Distrito Industrial de Franca: Uma idéia a procura de lugar.** In: **Seminário da História e do Urbanismo.** V. 8, n. 4, Faculdade de Engenharia de Passo, Minas Gerais, 2004, p. 1-12.

FREIRE, P. S. M. **Análise das medidas de redução dos impactos ambientais do sistema de transporte no espaço urbano.** Centro de Tecnologia, Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - UFPB/CT/PPGEU, 2008.

FEDERAÇÃO ESTADUAL DA INDÚSTRIA DO PARANÁ - FIEPR. **Guia técnico para implantação de distritos industriais. Vinculado à cartilha informativa: distritos industriais e desenvolvimento das cidades.** Curitiba/PR, versão 01, 2013, 29p. Disponível em: <<http://fiepr.org.br/distritosindustriais>>. Acesso em: 20 mar. 2018.

FIGUEIREDO, L. C. **Linhas de continuidade no sistema axial.** Orientação Luis do Eirado Amorim. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Urbano. Recife. 2004.

GALVÃO, O. J. A. “Clusters” e Distritos Industriais: Estudos de casos em países selecionados e implicações de política. **Planejamento e Políticas Públicas**, Departamento de Economia – Universidade Federal Pernambuco. Nº 21, 49 p. 2000. Disponível em: <<http://www.ipea.gov.br/ppp/index.php/PPP/article/viewFile/85/154>>. Acesso em: 7 mai. 2018.

HILLIER, B., HANSON, J. **The social logic of space.** Cambridge: Cambridge University Press. 1984.

HILLIER, B., HANSON, J., PENN, A., GRAJEWSKI, T., XU, J. Natural Movement: or configuration and attraction in the pedestrian movement urban. In: **Environment and Planning B: Planning and Design.** London: Pion. Vol. 20. (pp.: 29 - 66). 1993.

HOFFMANN, R. C., MIGUEL, R. A., PEDROSO, D. C. A Importância do planejamento urbano e da gestão ambiental para o crescimento ordenado das cidades. **Revista Engenharia e Tecnologia**. v. 3, No. 3, dez/2011, p 70-81.

LEITE, N. B. F. **Expansão urbana e seus efeitos sobre a mobilidade e acessibilidade avaliada com o auxílio dos sistemas de informação geográfica (SIG) em Teresina-PI**. Tese (Doutorado em Geografia). Instituto de Geociências - Universidade Federal de Minas Gerais, 2013.

LIBERATO, R. C. Revisando os modelos e as teorias da análise regional. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v. 18, n. 29, p. 127-136, 2º sem. 2008.

MIRANDA, A. E. **Planos e projetos de expansão urbana, industriais e operários em Porto Alegre (1935-1961)**. Tese (Doutorado em Planejamento Urbano e Regional). 373 f. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, 2013, 372 p.

NIGRO, M. A Mobilidade Sustentável: Valores e Conflitos na Transformação do Espaço Urbano. **Anais do Simpósio cidades médias e pequenas da Bahia**, Bahia, 2012, 13 p. Disponível em: <<http://periodicos.uesb.br/index.php/ascmpa/article/view/3737>>. Acesso: 20 jul. 2018.

KRAFTA, R. **A study of intra-urban configurational development in Porto Alegre – Brasil**. Tese de Doutorado. Churchill College. Department of Architecture. University of Cambridge. Cambridge: [s.n]. 1992.

\_\_\_\_\_. Urban convergence: morphology and attraction. In: **TIMMERRMANS, H. (Ed.). Decision support systems in Urban Planning**. Eindhoven: E & FN SPON. (pp.: 107 – 124). 1997.

RESENDE, P. T. V., SOUSA, P. R. **Mobilidade urbana nas grandes cidades brasileiras: Um estudo sobre os impactos do congestionamento**. Fundação do Dom Cabral, SIMPO I, Anais, São Paulo, 2009, 16 p. Disponível em: <[http://www.simpoi.fgvsp.br/arquivo/2009/artigos/e2009\\_t00138\\_pcn41516.pdf](http://www.simpoi.fgvsp.br/arquivo/2009/artigos/e2009_t00138_pcn41516.pdf)>. Acesso em: 20 jul. 2018.

SALES FILHO, L. H. Indicadores de acessibilidade: alguns aprimoramentos analíticos e seu uso na avaliação de redes estruturais de transporte urbano. In: **Anais do XI Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transporte – ANPET**, Rio de Janeiro: EdUFRJ, Vol. 2, Novembro. (pp.: 985 - 996). 1997.

SILVA, A. S. **Modelagem, mensuração e simulação do movimento de pedestres e veículos**. Porto Alegre: [Disponível na Biblioteca da Faculdade de Arquitetura da UFRGS]. 2010. Disponível em: <[http://www.ufrgs.br/propur/teses\\_dissertacoes/Andre\\_Silva.pdf](http://www.ufrgs.br/propur/teses_dissertacoes/Andre_Silva.pdf)> Acesso em: 20 jan 2018.

VASCONCELLOS, E. A. **Transporte urbano, espaço e equidade: análise das políticas públicas**. São Paulo: Netpress. 1998.

WERLE, L. M. **Desenvolvimento de uma metodologia para análise locacional em sistemas educacionais**. Orientadora Mirian Buss Gonçalves. Doutorado em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Brasil. 1999. Disponível em <<http://www.eps.ufsc.br/teses99/werle/cap5.html>>. Acesso em: 19 jan. 2018.

ZANINI, L. F. P. **Seleção Preliminar de áreas para o futuro Distrito Industrial do Município de Nova Santa Rita – RS. Estudo Geológico-Geotécnico (PROTEGER)**. Porto Alegre/RS – CPRM/ METROPLAN, 1995. 28p. Disponível em <[http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/8467/rel\\_santa\\_rita\\_preliminar.pdf?sequence=1](http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/8467/rel_santa_rita_preliminar.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 01 ago. 2018.

## AUTORES

**LEANDRO BITTENCOURT ÁVILA, MSc.** | Universidade do Vale do Rio dos Sinos | Mestrado Profissional em Arquitetura e Urbanismo | São Leopoldo, RS - Brasil | Correspondência para: Mestrado Profissional em Arquitetura e Urbanismo - Escola Politécnica; Av. UNISINOS, 950, Bairro Cristo Rei. São Leopoldo. RS. CEP: 93022-000 | E-mail: leandroavila.meioambiente@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0581-6693>

**ANDRÉ SOUZA SILVA, Dr.** | Universidade do Vale do Rio dos Sinos | Mestrado Profissional em Arquitetura e Urbanismo | São Leopoldo, RS - Brasil | Correspondência para: Mestrado Profissional em Arquitetura e Urbanismo – Escola Politécnica; Av. UNISINOS, 950, Bairro Cristo Rei. São Leopoldo. RS. CEP: 93022-000 | E-mail: silandre@unisinis.br

## COMO CITAR ESTE ARTIGO

ÁVILA, Leandro Bittencourt; SILVA, André Souza. Critérios locacionais como princípio para o conceito de distritos industriais sustentáveis. **MIX Sustentável, [S.l.], v. 5, n. 1, p. 97-104, mar-jun. 2019.** ISSN 24473073. Disponível em:<<http://www.nexus.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: dia mês. ano. doi:<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2019.v5.n1.97-104>.

**DATA DE ENVIO:** 13/01/2019

**DATA DE ACEITE:** 19/03/2019

---

# REUTILIZAÇÃO DE REJEITO DE DESSALINIZADORES NA PARAIBA

*REINFORCING REJECT OF DESSALINIZERS IN PARAIBA*

**VANESSA ROSALES BEZERRA, MSc.** | UEPB

**CARLOS ANTÔNIO PEREIRA DE LIMA, Dr.** | UEPB

**VALNELI DA SILVA MELO, MSc.** | UEPB

**MARIA VIRGINIA DA CONCEIÇÃO ALBUQUERQUE, MSc.** | UEPB

**LUIS REYES ROSALES MONTERO, Dr.** | UFCG

## RESUMO

A água é um recurso natural de valor inestimável. Mais que um insumo indispensável à produção, ela é vital para a manutenção dos ciclos biológicos, geológicos e químicos, que mantêm em equilíbrio os ecossistemas. É, ainda, uma referência cultural e um bem social indispensável à adequada qualidade de vida da população. Diante desse cenário de dependência, são desenvolvidas técnicas físico-químico retirando sais da água, tornando-a doce e própria para o consumo, a dessalinização, então, é vista como uma das grandes alternativas para solucionar o problema de abastecimento no mundo. Porém, a destinação ambientalmente correta dos rejeitos do processo desse processo é um dos desafios enfrentados que deve ser ponderado. Isso porque a osmose reversa gera outro tipo de água, muito salina, com risco de contaminação ambiental elevado e geralmente, esse rejeito é devolvido ao solo ou até aos cursos d'água. A partir desses problemas, o presente trabalho tem como objetivo estudar as diversas formas de tratamento dos rejeitos da dessalinização da água e escolher uma técnica viável para a aplicação no sertão brasileiro, área que mais sofre com a escassez de água.

**PALAVRAS-CHAVE:** Água subterrânea; Rejeito de dessalinizador; Semiárido.

## ABSTRACT

*Water is an invaluable natural resource. More than an indispensable input to production, it is vital for the maintenance of the biological, geological and chemical cycles that keep the ecosystems in balance. It is also a cultural reference and a social good indispensable to the adequate quality of life of the population. Faced with this scenario of dependence, physical-chemical techniques are developed by removing salts from the water, making it sweet and suitable for consumption. Desalination is therefore seen as one of the great alternatives to solve the problem of supply in the world. However, the environmentally correct disposal of tailings from the process of this process is one of the challenges that must be considered. This is because reverse osmosis generates another type of water, very saline, with risk of high environmental contamination and usually, this waste is returned to the soil or to the waterways. From these problems, the present work aims to study the different ways of treatment of water desalination waste and to choose a viable technique for application in the Brazilian sertão, an area that suffers most from water scarcity.*

**KEYWORDS:** Groundwater; Desalination reject; Semiarid.



## 1. INTRODUÇÃO

O ser humano não consegue viver longe da água que bebe e dos resíduos que produz. Essa parece ser uma preocupação que acompanha as civilizações desde as épocas mais remotas. Embora, com o passar dos tempos, a humanidade tenha aperfeiçoado muitas técnicas para coletar água e afastar os detritos, o problema permanece até os dias de hoje. Os povos primitivos utilizavam métodos simples para recolher as águas das chuvas, dos rios e dos lagos. Na sua fase nômade, em que mudava constantemente de lugar, o homem deixava restos de alimentos e dejetos acumulando-se dentro da própria habitação. (CRUZ,2013)

Com o decorrer do tempo, as necessidades humanas e o crescimento da população passaram a exigir quantidades cada vez maiores de água e facilidade de acesso às fontes existentes. Ao mesmo tempo, eram procuradas novas fontes de suprimento, inclusive no subsolo. Na América, os incas e mesmo as civilizações mais antigas já construíam numerosos sistemas de canalização de águas para irrigação, principalmente nas terras áridas da costa do Peru. Os egípcios dominavam técnicas sofisticadas de irrigação do solo na agricultura e métodos de armazenamento de líquido, pois dependiam das enchentes do Rio Nilo.

Durante a Idade Média, os hábitos dos camponeses e senhores eram semelhantes àqueles praticados pelas civilizações passadas. A situação se agravou com o início do desenvolvimento industrial, em meados do século XVIII, quando as fábricas de tecidos levaram os artesãos em massa para os grandes centros urbanos. Atualmente, o desenvolvimento da ciência e da tecnologia permitiu que fontes contaminadas se tornassem potáveis após tratamento. Hoje existem métodos diversificados para que o esgoto e o lixo não afetem a saúde e o meio ambiente. Porém, em toda a história da humanidade, a deterioração dos recursos naturais nunca atingiu tamanha proporção como nos dias atuais (CRUZ,2013).

No Brasil, o uso dos recursos hídricos começa a ficar preocupante: falta água na maioria das bacias do Nordeste, na Grande São Paulo, certas regiões de Minas Gerais, Bahia e em algumas áreas do Rio Grande do Sul. Possuímos 16% de água doce do planeta, distribuída de modo irregular. Cerca de 68% de nossos recursos hídricos estão no Norte, onde tem menos gente; apenas 3% estão no Nordeste e 6% no Sudeste, onde a população é maior. O Aquífero Guarani se estende pelos Estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, além da Argentina, Paraguai e Uruguai. Ocupa uma área de 1,2 milhões de km<sup>2</sup>, dos quais 70% encontram-se no Brasil. É um dos maiores reservatórios subterrâneos de água do mundo.

Em qualquer situação fisiográfica a depleção dos recursos hídricos deve ser avaliada com preocupação, mas, em regiões como o Nordeste do Brasil, caracterizada por um clima semi-árido, representado por altas temperaturas, elevadas taxas de evaporação e baixas precipitações pluviárias, fatores que favorecem a escassez de água, a preocupação há de ter caráter iminente. Nesta região, a disponibilidade hídrica anual de 700 bilhões de m<sup>3</sup> pode ser considerada expressiva; entretanto, como ressaltam Rebouças & Marinho (1972), somente 24 bilhões de m<sup>3</sup> permanecem efetivamente disponíveis, sendo que a maior parte, ou seja, 97%, é consumido pela evaporação que atinge, em média, 2.000 mm anuais.

A Região Nordeste ocupa 18,27% do território brasileiro, com uma área de 1.561.177,8 km<sup>2</sup>; desse total, 962.857,3 km<sup>2</sup> se situam no Polígono das Secas, delimitado em 1936 por meio da Lei 175 e revisado em 1951. O Polígono, que compreende as áreas sujeitas repetidamente aos efeitos das secas, abrange oito Estados nordestinos: o Maranhão é a única exceção, além de parte (121.490,9 km<sup>2</sup>) de Minas Gerais, na Região Sudeste; já o Semi-Árido ocupa 841.260,9 km<sup>2</sup> de área no Nordeste e outros 54.670,4 km<sup>2</sup> em Minas Gerais e se caracteriza por apresentar reservas insuficientes de água em seus mananciais (SUDENE, 2004). Ainda que a solução aos problemas da escassez de água no Nordeste seja uma meta há muito tempo almejada, inclusive constituindo a força motriz da primeira fase da história da irrigação no Brasil (Bernardo, 1992), continua-se verificando, atualmente, os impactos das estiagens sobre a população local, seja como reflexos econômicos substanciais na agricultura, ou como prejuízos sociais, os quais se estendem, como consequência, às demais regiões do País. Apesar da deficiência em recursos hídricos superficiais, poderiam ser extraídos do subsolo da Região Nordeste, sem risco de esgotamento dos mananciais, pelo menos 19,5 bilhões de m<sup>3</sup> de água por ano (40 vezes o volume explorado hoje), segundo estudos da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS).

O uso desta água, porém, é limitado por um problema típico dos poços do interior nordestino: a concentração elevada de sais. Grande parte da região (788 mil km<sup>2</sup>, ou 51% da área total do Nordeste) está situada sobre rochas cristalinas e o contato por longo tempo, no subsolo, entre a água e esse tipo de rocha, leva a um processo de salinização. Sem opção, diversas comunidades rurais nordestinas consomem água com salinidade acima do limite recomendado pela OMS, que é de 500 ppm. Nessas comunidades, a única fonte de água é o aquífero cristalino subterrâneo (Carvalho, 2000). Além de um recurso imprescindível à vida, a água também é um insumo

de desenvolvimento. Associada às políticas públicas viciadas em corrupção, como historicamente praticadas na região, a escassez de água é um dos primordiais fatores de origem da miséria no Nordeste. Monteiro (2002) encontrou forte correlação entre indicadores socioeconômicos no Estado do Ceará e a salinização das águas que abastecem suas populações.

Os 10 municípios (entre 170) com piores indicadores possuem quase 70% de seus poços com altos teores de sais, enquanto nos 10 melhores classificados este percentual é de apenas 16%. Em uma tendência observada há alguns anos, os Governos Federal e Estaduais têm procurado instalar equipamentos de dessalinização das águas salobras subterrâneas, objetivando a geração de água doce para o abastecimento urbano no Nordeste.

Em 2004, conforme dados da Associação dos Geógrafos Brasileiros, mais de 3 mil dessalinizadores estavam instalados no semi-árido do Nordeste. O Governo Federal, mediante a implantação do Programa Água Doce, do Ministério do Meio Ambiente, sinaliza a ampliação desse número, indicando ainda intenção de recuperar os equipamentos atualmente parados por falta de manutenção e mau uso (Associação dos Geógrafos Brasileiros, 2004).

Além do uso nos abastecimentos rural e urbano, tendo em vista a diminuição do preço dos dessalinizadores, pode-se prever sua utilização em empreendimentos agrícolas, sobretudo para aqueles implementados de forma intensiva e com culturas de alto valor. Soares et al. (2005), por exemplo, apresentam um trabalho envolvendo dessalinização de água salobra subterrânea para a produção de mudas cítricas, mostrando o crescimento significativamente superior das plantas irrigadas com água dessalinizada, em comparação com as irrigadas com a água salobra e com a água rejeito da dessalinização.

O semiárido brasileiro estende-se por oito estados da região Nordeste (Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe) mais o Norte de Minas Gerais, totalizando uma extensão territorial de 980.133,079 km<sup>2</sup> (MEDEIROS, 2014). Este apresenta como fator de destaque o clima, responsável pela variação de outros elementos que compõem a paisagem. Ao clima estão adaptados a vegetação e os processos de formação do relevo; os solos são, em geral, pouco intemperizados em função das condições de escassez das chuvas, tornando os processos químicos mitigados (ARAÚJO, 2011). A precipitação anual média da região varia entre 500 e 850 mm com mais de 70% das chuvas concentradas em alguns dias do ano; a evaporação real anual média varia de 450 a 700 mm anuais; e seu solo é geralmente raso sobre embasamento cristalino com os principais rios intermitentes.

Desta forma, essas características climáticas, pedológicas e hidrológicas conferem à região restrições para o uso regular dos recursos hídricos. Apesar da predominância de um subsolo constituído pelo embasamento cristalino, este possui fraturas, onde ocorrem deslocamento e armazenamento de águas subterrâneas, que, estrategicamente, são protegidas de agentes poluidores e da evaporação, o que favorece na atividade de perfuração de poços, largamente utilizada pela população do Semiárido.

Porém, muitos desses poços possuem água de baixa qualidade, devido ao contato de longo tempo com as rochas cristalinas, resultando em águas com alto grau de salinidade e sodicidade, o que limita bastante o uso desse recurso (BRASIL, 2012). Mesmo com tais características, essas águas subterrâneas têm vasta utilidade, principalmente na zona rural, onde são consumidas por pessoas e animais, como também, utilizadas para irrigação na agricultura. Porém o uso indevido de uma água salina, pode ocasionar diversos impactos negativos a população e ao meio, como por exemplo causar doenças ligadas ao consumo exacerbado de sais na alimentação, como previne guias da organização mundial da saúde (WHO) indicando um valor máximo de concentração de sais em água potável em 500mg/L (WHO, 2011).

Enquanto na agricultura, os usos de águas salinas comprometem o solo e a vegetação, favorecendo a aceleração do processo de desertificação e reduzindo a produtividade das plantas submetidas a estresse salino (GUEYI et al., 2012). Uma das alternativas utilizadas para transformar as águas com alto grau de salinidade em águas propícia ao consumo é o uso de dessalinizadores. Essa tecnologia baseia-se em processos físico-químicos e mecânicos que retiram o excesso de sais minerais, microrganismos e outras partículas sólidas presentes na água salobra.

Existem diversos tipos de dessalinizadores, com diferentes processos de dessalinização. No semiárido brasileiro um dos sistemas de dessalinização mais utilizados é o de osmose reversa, este tratamento remove grande parte dos componentes orgânicos e até 99% dos sais dissolvidos (SOARES et al., 2005).

Entretanto, o processo de osmose reversa implica na geração de rejeito, uma água residuária que tem concentração salina muito maior que a água salobra submetida ao tratamento e, por conseguinte, possui alto risco de contaminação ambiental. Neste sentido, apesar de ser uma técnica de grande aplicabilidade e com resultado satisfatório, proporcionando melhores condições para a população semiárida, está também possui seus riscos, que podem gerar impactos negativos de grande significância para o meio ambiente, como também para as pessoas diretamente e indiretamente envolvidas.

Estima-se que no semiárido brasileiro existam em torno de 400 dessalinizadores distribuídos por toda a área, gerando um volume alto de rejeitos lançados ao solo (ANDERS et al., 2015). Desta forma, deve-se ponderar o benefício da dessalinização por osmose reversa, tendo em vista o potencial de contaminação da água residual gerada no processo. Frente a esse cenário a pesquisa tem como objetivo identificar os impactos ambientais gerados pelos rejeitos do dessalinizador lançados ao solo, analisando parâmetros físico-químicos e microbiológicos de águas dos poços e propor alternativas de mitigação dos impactos negativos gerados.

Em levantamento realizado por Amorim et al. (2004) referente aos sistemas de dessalinização de águas salobras no Estado da Paraíba, eles constataram que 85% dos sistemas de dessalinização os rejeitos são despejados no solo sem qualquer critério, ação esta que traz sérias consequências ao solo. Os efeitos causados ao solo e a vegetação são os mais diversos.

No solo, o excesso de sais pode causar modificação da estrutura, que futuramente pode gerar erosão; os sais em altas concentrações causam aumento do potencial osmótico, que tem como consequência maior retenção de água no solo e menor disponibilidade de água para a planta; em determinados níveis de salinidade, a planta em vez de absorver poderá perder água do seu interior para o solo. Outro efeito do aumento da concentração de sais no solo é a toxicidade que podem causar às plantas. De modo geral, a toxicidade é causada pelos íons cloreto, sódio e boro, mas outros íons podem provocar toxicidade em plantas, como é o caso do nitrato, que prejudica o desenvolvimento e desordens fisiológicas em algumas espécies vegetais. Além desses efeitos, os íons salinos podem provocar deficiência ou inibir a absorção de outros íons essenciais para o desenvolvimento das plantas (DIAS & BLANCO, 2010).

Quanto ao destino dos rejeitos, constatou-se que são realizados três tipos de manejo: a) o despejo diretamente no solo; b) a sua oferta aos animais; c) e a injeção na rede coletora de esgoto municipal. Conforme pode ser observado na Figura 2, em 85% dos sistemas avaliados o rejeito é despejado ao solo sem qualquer tratamento prévio; em 10% são ofertados aos animais e em 5%, que corresponde a apenas um sistema, os rejeitos são injetados na rede coletora de esgotos do município. Aqui é importante observar que esta prática de despejos na rede de esgotos, a qual não deixa de ser um problema ambiental pois, estes rejeitos certamente encontrarão um corpo d'água receptor, e que terá suas características alteradas, está indo de encontro ao Artigo 23 da Resolução Conama 20/86 que

diz que, “os rejeitos não poderão conferir ao corpo receptor características em desacordo com o seu enquadramento”, e como é sabido, os altos teores de sais do rejeito poderá aumentar a salinidade do corpo d'água receptor

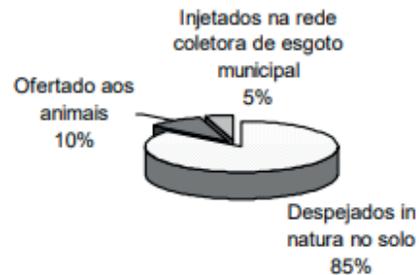


Figura 01 – Destino dos rejeitos dos 20 sistemas de dessalinização avaliados e seu percentual de ocorrência na Paraíba.

Fonte: Philippini, Karla

## 2. ESTUDO DA ARTE

### 2.1. TIPOS DE DESSALINIZADORES

Para tanto, diversas tecnologias são utilizadas para que a dessalinização de águas salgadas ou salobras aconteça:



Figura 02 – Fluxograma dos tipos de Dessalinizadores.

Fonte: Younos T. e Tulou K. E. (2005)

- destilação solar: utiliza-se da energia solar onde a água passa a vapor e se torna doce depois que se condensa;
- destilação multi-estágios: a água é aquecida até o estado de vapor e através de um sistema de resfriamento é realizada a condensação da mesma sem os sais;
- eletro-diálise: através de um sistema de cátodo e ânodo, chamado de pilha de membranas, é separado os sais da água;
- osmose reversa: está baseada no efeito da pressão da água sobre uma membrana polimérica, através da qual a água irá passar e os sais ficarão retidos;
- destilação a vácuo: submetendo a água salgada ao vácuo a sua temperatura de ebulição diminui, logo a água evapora a uma baixa temperatura, condensando-a em seguida sem a presença dos sais;

f) congelamento: congelando-se a água forma-se os cristais de gelo e estes são separados da salmoura.

Entretanto, todas as tecnologias existentes produzem a água doce, porém o que diferencia as mesmas são os seus custos e estes variam influenciados por fatores como custo de energia, tamanho da planta, qualidade da água abastecida, automação, controle, etc. (ZHOU, 2005). Conforme exposto por Torri (2015):

- a) qualidade da água: os custos de dessalinização de água salobra é 1/3 menor que a dessalinização da água do mar;
- b) localização da planta: afeta diretamente os custos de tratamento do resíduo (salmoura), uma vez que este resíduo deve ser tratado antes do descarte para não afetar o meio ambiente (solos e recursos hídricos), sendo assim, plantas de dessalinização afastadas da região costeira possuem um maior custo no tratamento de seus resíduos (HENTHORNE, 2009), pois não dispõem da possibilidade de utilizar-se do mar para captação da água salgada e diluição de seus rejeitos;
- c) fonte de energia: o uso da fonte de energia afeta significativamente os custos e a energia solar em breve será a melhor escolha, pois o custo nivelado da energia solar de painéis fotovoltaicos, que agora é quase um quarto do que era em 2009, deverá baixar outros 66% até 2040. Até lá, um dólar comprará 2,3 vezes mais energia solar do que hoje. Essa energia já é pelo menos tão barata quanto o carvão na Alemanha, Austrália, EUA, Espanha e Itália e em 2021, será também na China, Índia, México, Reino Unido e Brasil (BLOOMBERG, 2017).

Atualmente o método de dessalinização predominante é a osmose reversa (PORTO et al., 2001), devido, principalmente, à simplicidade e à robustez do equipamento, aos baixos custos de instalação e operação, associados à capacidade de tratar volumes baixos ou moderados de água bruta.

## 2.2. IMPACTOS CAUSADOS

Em uma pesquisa em 21 municípios da Paraíba ( Alcantil, Barra de Santana , Boa Vista, Camalaú, Caraúbas, Cabaceiras, Caturité, Campina Grande, Cuité, Juazeirinho, Monteiro ,Mogei, Nova Palmeira, Olivedos, Pedra Lavrada, Picuí, Santa Luzia, São José dos Cordeiros Serra Branca Belo Monte, São S. do Umbuzeiro, Queimadas ) foram analisadas a qualidade de água do poço, do rejeito e da água dessalinizada, a Figura 3 mostra os valores médios em mmol/L dos cátions e ânions das águas dos poços, dos rejeitos e das águas dessalinizadas dos sistemas de dessalinização avaliados.

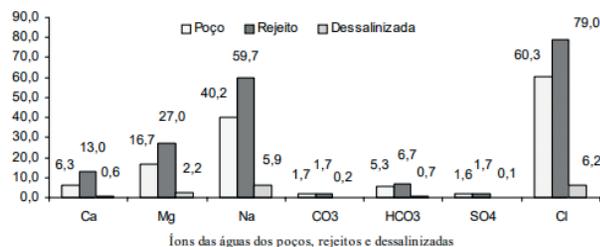


Figura 03 – Valores médios em mmol/L, dos íons das águas dos poços, dos rejeitos e das águas dessalinizadas dos sistemas de dessalinização avaliados.

Fonte: Miriam (2003).

A figura 4 apresenta a condutividade elétrica (dS/m) da água dos poços, da água do rejeito e da água dessalinizada de todos os sistemas avaliados.

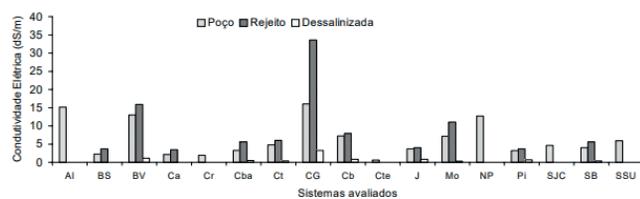


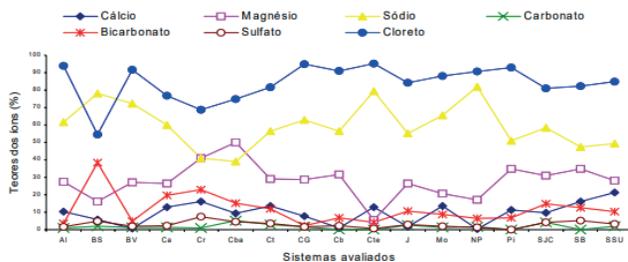
Figura 04 – Condutividade elétrica (dS/m) da água dos poços, da água do rejeito e da água dessalinizada de todos os sistemas avaliados.

Fonte: Miriam (2003).

Analisando-se a condutividade elétrica das águas dos poços, observa-se que os maiores valores ocorreram nos municípios de Campina Grande, Alcantil, Boa Vista, Nova Palmeira, e Monteiro, com valores de 16,30 dS/m; 15,60 dS/m; 13,01 dS/m; 12,72 dS/m; e 7,14 dS/m respectivamente, sendo classificadas segundo a Resolução N° 20 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) como águas salobras, imprópria para o consumo humano, sendo, portanto passíveis de dessalinização. (Cleide, 2003).

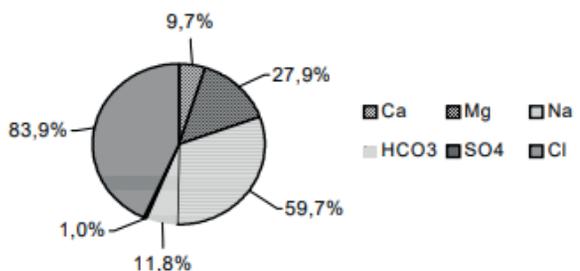
Conseqüentemente, os rejeitos dos mesmos sistemas apresentaram os maiores valores de condutividade, 33,6 dS/m para o sistema de Campina Grande; 15,94 dS/m para o sistema de Boa Vista e 11,08 dS/m para o sistema de Monteiro. Estes valores indicam que para cada litro de rejeito despejado no solo estão sendo colocados cerca de 21,5g, 10,2g e 7,09g de sais, respectivamente. A condutividade elétrica média da água do poço, do rejeito e da água dessalinizada dos sistemas foi de 6,33 dS/m, 9,15 dS/m e 0,77 dS/m respectivamente. Nos municípios de Alcantil, Caraúbas, Cuité, Mogei, Nova Palmeira, São José dos Cordeiros e São Sebastião do Umbuzeiro e Olivedos, não foram coletadas amostras de rejeito, pois os equipamentos encontravam-se parados por problemas operacionais. A Figura 6 mostra os teores dos íons (%) das águas dos

poços dos sistemas de dessalinização avaliados, e revela que o íon cloreto que teve maior ocorrência conforme a Figura 5, apresenta também maior teor iônico percentual, com valores percentuais do íon cloreto de 95,2%, para os poços do sistema de Cuité; de 94,8% para Campina Grande; 93,9% em Alcantil; e 91,7% em Boa Vista, apresentando as águas mais cloretadas, porém as menos bicarbonatadas. Os íons de maiores teores que seguem o cloreto foram o sódio e o magnésio, e os menores teores foram carbonato e sulfato. (Cleide, 2003).

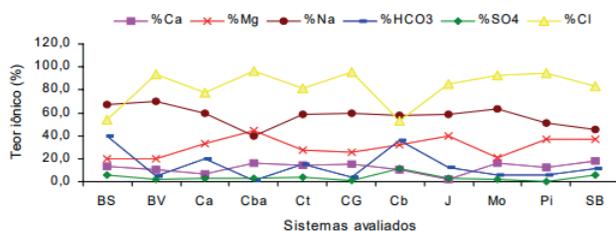


**Figura 05** – Teores dos íons (%) das águas dos poços dos sistemas de dessalinização avaliados.  
**Fonte:** Miriam, Cleide (2003).

Com base nos dados da Figura 5, a Figura 6 apresenta os teores iônicos médios para as águas dos poços. O íon cloreto apresentou um teor médio percentual de 83,9%, seguido do íon sódio com valor de 59,7%, do íon magnésio com valor de 27,9%, do íon bicarbonato com 11,8%, do íon cálcio com 9,7% e o sulfato com 1,0%.



**Figura 06** – Teores iônicos médios das águas dos poços dos sistemas avaliados.  
**Fonte:** Miriam, Cleide (2003).



**Figura 07** – Teores dos íons (%) das águas dos rejeitos dos sistemas de dessalinização avaliados.  
**Fonte:** Miriam, Cleide (2003).

A Figura 7 mostra os teores dos íons (%) das águas dos rejeitos dos sistemas de dessalinização avaliados, e revela que o íon cloreto que teve maior ocorrência na água dos poços conforme Figura 5, apresenta também maior teor iônico percentual, com valores percentuais de 96,52%, no sistema de Cubati; de 95,7% em Campina Grande; de 94,2% em Picuí; 93,3% em Boa Vista; e 92,8% em Monteiro. Os teores iônicos médios foram de 82,5% para o cloreto; 57,3% para o sódio; 30,5% para o magnésio; 14,01% para o bicarbonato; 12,6% para o cálcio e 3,5% para o sulfato. Estes valores são bastante próximos aos valores encontrados nas águas dos poços. (Cleide, 2003).

Diante dos dados em análise, 85% dos sistemas os rejeitos são despejados no solo sem qualquer critério, e em 90% das formas de despejo a questão ambiental não está sendo considerada visto que a prática de injetar o rejeito na rede coletora de esgotos também é uma forma de contaminação ambiental; Os solos que serviram de depósito dos rejeitos foram afetados pelo acúmulo de sais; os efeitos dos rejeitos foram bastante significativos em 93,8% dos sistemas, porém os municípios de Campina Grande, Juazeirinho, Serra Branca e São Sebastião do Umbuzeiro foram os casos mais significativos; esta forma de manejo dos rejeitos ameaça o surgimento de um novo processo de degradação do solo e meio ambiente semi-árido, fato que exige alternativas de manejo que estejam de acordo com as características do meio ambiente local, permitindo o desenvolvimento do processo de melhoria da oferta hídrica no semi-árido, sem deixar de preservar o meio ambiente. (Cleide, 2003).

## 2.2. IMPLEMENTAÇÃO COM BAIXO CUSTO ENERGÉTICO

Para extrair sal da água do mar ou água salobra de reservatórios subterrâneos, a tecnologia mais utilizada atualmente é a osmose reversa. O processo é considerado de alto custo pelo material utilizado e pelo gasto com energia elétrica: uma bomba de alta pressão força a água a passar por uma membrana polimérica, que retém os sais.

Uma alternativa de dessalinização, com menor gasto de energia, é o processo de de ionização capacitiva que utiliza carvões ativados com poros nanométricos (1 nanômetro equivale a 1 milímetro dividido por 1 milhão) para retirada da salinidade da água. Carvões com características diferenciadas para essa aplicação foram desenvolvidos por pesquisadores do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), em São Paulo. Eles são semelhantes aos usados em filtros de água comuns, mas com uma quantidade e tamanho de

poros que proporcionam uma elevada área de retenção de íons e moléculas”, explica o engenheiro químico Luís Augusto Martins Ruotolo, professor da UFSCar (o projeto teve apoio da FAPESP).



**Figura 08** – Dessalinização que usa carvões ativados obtidos de polímeros condutores.  
**Fonte:** Site Ciclo vivo

Os carvões ativados podem ser feitos com diferentes materiais, como madeira, bagaço de cana, casca de coco e polímeros. No invento da UFSCar, o carvão foi preparado aquecendo-se um polímero condutor de eletricidade, chamado de polianilina, a 800 graus Celsius (°C), em condições adequadas para eliminar a matéria orgânica volátil.

O resultado foi um eletrodo rico em carbono. A inovação dos pesquisadores da UFSCar tornou os carvões ativados mais eficientes e com melhor capacidade de retenção de moléculas ou íons na superfície. Ruotolo e o doutorando Rafael Linzmeyer Zornitta, que são do Laboratório de Tecnologias Ambientais (Latea), inseriram dois desses eletrodos em uma célula eletroquímica composta por placas de acrílico e borrachas de vedação. Eles ficaram posicionados em lados opostos dentro da célula e separados por um canal onde escoar a água com sal (cloreto de sódio) a ser dessalinizada. Para viabilizar a dessalinização, uma tensão elétrica de 1,2 volt (V) foi aplicada na célula eletroquímica. Essa tensão é menor do que a transmitida por uma pilha comum (AA), de 1,5 V. Assim, um dos eletrodos ficou polarizado com carga negativa e o outro com carga positiva.

## 2.4. PROCESSO DE DESSALINIZAÇÃO

Em todo o mundo são utilizados quatro tipos de dessalinização: Osmose Reversa, Destilação Multiestágios, Dessalinização Térmica e o método por Congelamento.

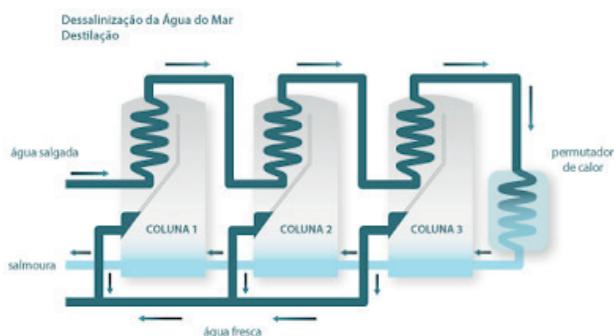
**Osmose reversa:** Este processo ocorre quando se exerce forte pressão em uma solução salina. A água atravessa uma membrana semipermeável, dotada de poros microscópicos, responsáveis por reter os sais, os microrganismos e outras impurezas. Desta forma, o líquido se separa da solução

salgada, passando para uma região com apenas água pura. As estações de dessalinização atuais utilizam tecnologia de ponta, com membranas osmóticas sintéticas.



**Figura 09** – Usina de dessalinização por osmose reversa.  
**Fonte:** Dessalinizadores e seus sensores.

**Destilação Multiestágios:** Neste processo, utiliza-se vapor em alta temperatura para fazer com que a água do mar entre em ebulição. A nomenclatura “multiestágios” se justifica por conta da passagem da água por diversas células de ebulição-condensação, garantindo um elevado grau de pureza. Neste processo, a própria água do mar é usada como condensador da água que é evaporada.



**Figura 10** – Processo de destilação.  
**Fonte:** Dessalinizadores e seus sensores.

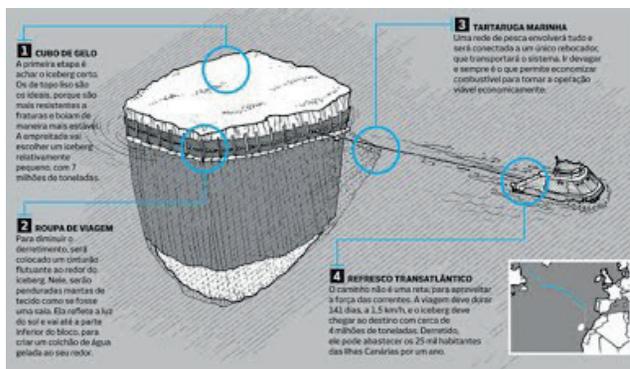
**Dessalinização Térmica:** É um dos processos mais antigos, imitando a circulação natural da água. O modo mais simples, a “destilação solar”, é utilizada em lugares quentes, com a construção de grandes tanques cobertos com vidro ou outro material transparente. A luz solar atravessa o vidro, a água do líquido bruto evapora, os vapores se condensam na parte interna do vidro, transformando-se novamente em água, que escorre para um sistema de recolhimento. Dessa forma, separa-se a água de todos os sais e impurezas. Em lugares frios ou com carência de espaço, esse processo pode ser feito

gerando-se calor através de energia. A melhor solução, neste caso, é a utilização de energia solar, que é mais barata, não consome recursos como petróleo e carvão e não agride o meio ambiente.



**Figura 11** – Esquema da destilação solar.  
**Fonte:** Dessalinizadores e seus sensores.

**Congelamento:** É um processo que ainda exige estudos de viabilidade e novas tecnologias. Nele, a água do mar ou salobra é congelada. Quando a congelamos, produzimos gelo puro, sem sal. Então através do congelamento/descongelamento obtêm-se água doce. Esse método não foi testado em larga escala, porém, existem propostas para a exploração das calotas polares (onde está boa parte da água doce do planeta) para obtenção de água pura. Mas isso é demasiadamente caro e só seria utilizado como última opção.



**Figura 12** – Retirada de pedaços de grandes blocos de gelo originados nos pólos.  
**Fonte:** Dessalinizadores e seus sensores.

### 3. TECNOLOGIAS PARA O TRATAMENTO DE REJEITOS

#### 3.1. CULTIVO DA ALFACE

Conforme Mickley (2004), a escolha da melhor opção para se dispor o rejeito da dessalinização deve atender, dentre outros fatores, às disponibilidades locais (terra,

compatibilidade das águas receptoras e distância), às disponibilidades regionais (geologia, leis estaduais, geografia e clima), ao volume de concentrado, aos custos envolvidos, à opinião pública e à permissibilidade. Riley et al. (1997) consideraram o cultivo de plantas halófitas a melhor opção para dispor o rejeito da osmose reversa.

O aproveitamento do rejeito da dessalinização em solução nutritiva em cultivos hidropônicos de hortaliças é uma opção bastante promissora para dispor esse resíduo. Isso porque, de acordo com Soares (2007), apesar da alta concentração de sais no rejeito e do seu poder de contaminação, a tolerância das plantas à salinidade em sistemas hidropônicos pode ser maior em relação ao sistema convencional, pois é menor ou inexistente o efeito do potencial métrico sobre o potencial total da água na hidroponia, o que pode reduzir a dificuldade de absorção de água e nutrientes pelas plantas com consequente aumento da salinidade limiar da cultura. Nesse sentido, em sistemas hidropônicos, espera-se que culturas, sobretudo de ciclo rápido, proporcionem o uso sustentável de águas salinas, naturais ou residuárias provenientes do processo de dessalinização.

Um grande desafio para a pesquisa seria contribuir para a solução da escassez de água para consumo humano e para o desenvolvimento de sistemas sustentáveis de produção com águas salinas para a produção de forragens e de culturas alimentares. A possibilidade de utilização de águas de qualidade marginal liberará água doce para beber e a identificação e obtenção de genótipos tolerantes a sais abrirão perspectivas para produção de alimentos vegetais para consumo direto da população e para alimentação animal, gerando proteínas para uso humano.

Levando-se em consideração estes aspectos, objetivou-se avaliar os efeitos da utilização de água de rejeito proveniente do processo de dessalinização por osmose reversa na cultura de alface (*Lactuca sativa* L.) em sistema hidropônico NFT.

#### 3.2. CRIAÇÃO DE TILÁPIA

Como alternativas preventivas para a destinação do rejeito do dessalinizador, Amorim et al. (2004a), desenvolveram experimento utilizando rejeito de dessalinizador para a criação de tilápia do gênero *Oreochromis*, constatando que a espécie apresentou baixo índice de mortalidade durante o período de cultivo. Outros fatores positivos observados foram boas reprodução, ganho de peso, alta qualidade do pescado com relação ao sabor e à aparência do peixe, além da possibilidade de disponibilizar alimento de bom valor nutritivo às populações do semi-árido, sendo uma alternativa com grande potencialidade

de viabilidade econômica. A prática do uso de tanques de evaporação da água do rejeito para obtenção do sal cristalizado, também pode ser uma alternativa. Porém a destinação desse sal representa uma incerteza, pois este, em muitos casos, não pode ser consumido por seres humanos e animais devido à presença de impurezas e compostos tóxicos (AMORIM et al., 2004b).

### 3.3. ENGORDA DE CAPRINO COM ERVA-SAL

Como em outras partes do mundo, a erva-sal tem representado uma fonte de alimento para as situações de emergência. Todavia, pesquisas mais recentes têm demonstrado a importância desta planta como alimento (ARAJO & PORTO 2000). O alto teor de proteína bruta, combinando a baixa quantidade de fibra, faz da erva-sal um alimento de qualidade, podendo ser comparável, segundo O'LEARY (1986), com a alfafa, cujo teor proteico varia de 12 a 22%. Segundo o mesmo autor, o teor de proteína na erva-sal varia significativamente com a idade da planta, portanto a idade de corte é uma etapa importante no processo.

Mesmo considerando a erva-sal como um alimento de qualidade, existe a rejeição por parte de alguns animais, principalmente os bovinos, pela baixa palatabilidade em função do sabor salgado. Os caprinos e ovinos aceitam mais uma dieta contendo feno da erva-sal. Todavia, não é recomendável o estabelecimento de uma dieta para estes animais com base na erva-sal. Isto pode manifestar no animal sintomas de deficiência mineral, como também pode proporcionar ganho de peso (CAMPBELL & MATHEWSON, 1992; e HOPKINS & NICHOLSON, 1999).

Na dieta alimentar para ovinos é de fundamental importância o teor de proteína nas forragens. No semi-árido brasileiro o sistema de criação extensivo. É praticado para a maioria dos animais.

Nos períodos de estiagem o animal sobrevive com base na ingestão de materiais lenhosos encontrados na caatinga seca, os quais são alimentos de baixa qualidade em função dos seus baixos níveis de proteína. O feno da erva-sal ajuda na correção dessa desnutrição por seu alto valor protéico, variando de 14 a 18% de proteína, de acordo com estudos realizados na Embrapa Semi-Árido (ARAUJO & PORTO, 2000). SOUTO et al., (2002) trabalhando com engorda de ovinos, com dietas tendo como fonte proteica o feno da erva-sal, produzido através de cultivo irrigado usando o efluente da dessalinização de água no semi-árido brasileiro, encontraram os melhores ganhos de peso nos animais quando a participação da erva-sal na dieta foi entre 38,3 e 64,57%.

### 3.4. UTILIZAÇÃO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS

Hoje existem várias técnicas de descontaminação de solos e águas, mas muitas delas de alto custo ou que trazem de certa forma algum impacto ambiental, porém uma técnica que tem ganhado bastante prestígio nos últimos anos por apresentar excelentes resultados em uma série de trabalhos na literatura é a fitorremediação. Segundo Singh, Tiwari e Gupta (2012), fitorremediação é um novo conceito de limpeza que envolve o uso de plantas para limpar ambientes contaminados. Apesar de toda a tecnologia presente de hoje, parece que folhagens e árvores podem ser a melhor forma de melhorar a qualidade da água. Com esta técnica, é possível recuperar ambientes poluídos por diversos tipos de substâncias como, por exemplo, metais (Na, K, Ca, Mg, Pb, Zn, Cu, Ni, Hg, Se), compostos inorgânicos ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ), elementos radioativos (U, Cs, Sr), hidrocarbonetos derivados de petróleo, pesticidas e herbicidas, explosivos (TNT, DNT), dentre várias outras (COUTINHO e BARBOSA, 2007; OVERALL e PERRY, 2004; LESAGE et al, 2007; SOARES et al, 2007).

Mas, para que a fitorremediação seja aplicada em uma determinada área, alguns padrões devem ser considerados, como o tipo de poluente presente naquele ambiente, sua concentração, e a capacidade fitorremediadora da espécie de planta a ser utilizada (COUTINHO e BARBOSA, 2007). Algumas plantas absorvem determinadas substâncias a mais que outras, dependendo do tipo de substância encontrada em determinado ambiente. Entre as espécies utilizadas em processos de fitorremediação, algumas se destacam por sua alta capacidade de remoção de diferentes classes de substâncias dentre elas destaca-se macrófitas flutuantes, da espécie *Eichhornia crassipes* (Mart.). Solms (Pontederiaceae) que é conhecida popularmente como aguapé. Esta macrófita aquática possui grande capacidade de retenção de nutrientes, metais, sedimentos e, por esse motivo, é uma espécie considerada despoluidora de água (POTT e POTT, 2000). Essa planta tem-se apresentado como uma opção viável para aplicação da técnica, tendo em vista os bons resultados obtidos por vários pesquisadores.

### 3.5. TRATAMENTO MICROBIOLÓGICO

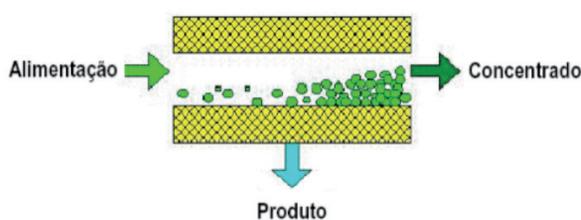
Existem fatores biológicos que contribuem com o aumento do desenvolvimento vegetal, em termos de absorção de água e nutrientes. Esse fator, deve-se à associação de fungos micorrízicos arbusculares que constituem parte significativa da biomassa microbiana do solo e estão envolvidos diretamente em processos essenciais da interface solo-planta. Essa associação ocorre devido a planta suprir

o fungo com energia para o crescimento e manutenção por meio de produtos fotossintéticos, enquanto o fungo provê à planta água e nutrientes (RODRIGUES; BARROSO; FIGUEIREDO, 2018). Diante disso, este trabalho tem o objetivo de avaliar o efeito da associação de fungos micorrízicos arbusculares com rejeito proveniente de dessalinizador no desenvolvimento de *Atriplex nummularia* Lind.

### 3.6. PROCESSOS DE SEPARAÇÃO COM MEMBRANAS

A composição físico-química da água subterrânea apresenta menor índice de variação, durante as estações climáticas, do que a água superficial. As águas superficiais (rios, lagos e do mar) são caracterizadas pelo nível de sólidos suspensos, atividades microbiológicas e variações climáticas. Em função destas observações, antes de projetar um sistema de dessalinização, se faz necessário obter uma boa análise da água de alimentação. (Moura, et al, 2012).

A água problema é de um poço artesiano localizado na comunidade de Uruçu zona rural de São João do Cariri – PB, próximo a Campina Grande. Essa água apresenta uma grande quantidade de sal, que de acordo com as normas do Ministério do Meio Ambiente, essa água é considerada como salobra. O processo de separação por membranas é caracterizado pelo fato da corrente de alimentação ser dividida em duas correntes, a de concentrado e a de permeado, o que implica que ou a corrente de concentrado ou a de permeado será o resultado da separação (produto). As partículas e os solutos retidos na superfície da membrana são continuamente removidos no concentrado que flui tangencialmente ao longo da superfície da membrana, denominado de fluxo cruzado. A solução purificada flui através da membrana como permeado conforme mostra a Figura 5. (ALMEIDA, 1999).



**Figura 13** – Correntes no processo de separação por membranas.  
**Fonte:** (ALMEIDA, 1999).

## 4. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Entre os vários tipos de dessalinizadores apresentados, pode-se utilizar energia limpa, como os sistemas fotovoltaicos, entretanto, são tecnologias caras, o que inviabiliza o uso em regiões mais pobres, como o sertão do Nordeste

brasileiro. Por isso, entre os métodos de purificação da água acessíveis a regiões com menor poder aquisitivo uma implementação interessante seria a destilação solar.

A destilação solar, que é feita via destilador solar do tipo tanque raso, é uma tecnologia muito simples que imita um processo natural: a radiação solar aquece a água contida num recipiente raso de concreto revestido por uma cobertura negra, a água se transforma em vapor, o vapor se condensa na cobertura de vidro (que tem uma temperatura mais baixa) e a lâmina de água destilada é então coletada em um duto metálico meia-cana localizado na parte lateral do destilador.

A energia solar é aprisionada dentro da câmara, pois o vidro comum é transparente para a radiação solar mas opaco para a radiação térmica emitida pela água (efeito estufa). Quando a água evapora, as impurezas são deixadas para trás na água salobra. O sal necessita de uma temperatura de 1400°C para evaporar. Não é necessário, como alguns acreditam que a água ferva para que ela seja destilada. O processo realizado pelo destilador solar realiza o mesmo trabalho que a fervura, produzindo uma água até mesmo mais pura, pois quando as bolhas da fervura estouram, elas podem contaminar a água destilada com pequenas porções de água contaminada sendo lançadas no vapor.

Para o tratamento do efluente do dessalinizador, seria necessário esquematizar todo um processo, inicialmente bombear todo o rejeito proveniente do dessalinizador para tanques de piscicultura para a criação de tilápia, fonte de proteínas para a comunidade. Posteriormente, o efluente dessa criação, enriquecido em matéria orgânica, seria aproveitado na produção vegetal (horta comunitária orgânica, irrigação de mudas de essências florestais para revegetação e irrigação de espécies forrageiras. E por último temos a forragem, com teor de proteína entre 14 e 18%, para utilizar como engorda de caprinos e/ou ovinos que, juntamente como a produção de tilápia e hortaliças garante a segurança alimentar e nutricional das famílias e, ainda a o aumento da renda com a venda do excedente, fechando assim o sistema de produção ambientalmente sustentável.

Para implementação mais sofisticada de um dessalinizador solar,, pode-se desenvolver um que possua placas que capturem energia solar para alimentar o seu funcionamento. O sistema de dessalinização não utiliza energia elétrica. Dessa forma, economiza com custos de manutenção, além de fazer um sistema totalmente sustentável, que pode ser copiado tanto em outras comunidades rurais quanto em outras cidades com realidade parecida.

## REFERÊNCIAS

AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO O REJEITO DO PROCESSO DE DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUAS SALOBRAS DE COMUNIDADES RURAIS DO OESTE POTIGUAR. Flávio de Oliveira Basílio (2015).

BENFER, S.; POPP, U.; RICHTER, H.; SIEWERT, C.; TOMANDL, G.; Development and characterization of nanofiltration membranes, separation e purification technology, v. 22, p. 231-237, Germany, 2001.

BHAVE R.R., Inorganic membranes-synthesis, characteristics and applications, van nostrand reinhold, New York, 1991.

COELCE – companhia energética do Ceará; 1995. Suprimento de água para pequenas comunidades via energia solar fotovoltaica – relatório final, dface, Fortaleza-CE.

DESTILADORES SOLARES NO BRASIL. Disponível em: <[http://www.solenerg.com.br/files/monografia\\_alexandre.pdf](http://www.solenerg.com.br/files/monografia_alexandre.pdf)> Acessado em: 19/11/2018.

DESSALINIZADORES E SEUS SENSORES. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=100>>. Acessado em: 23/11/2018.

CRUZ, FLÁVIA, 2013. A água na história do homem. Disponível em< <https://www.coladaweb.com/historia/a-agua-na-historia-do-homem>> Acesso em 21/11/2018

FITORREMEDIAÇÃO DA ÁGUA DO REJEITO DE DESSALINIZADORES UTILIZADOS NO OESTE POTIGUAR POR *Pistia statiotes*. Hallyson Galdino Marques\* (Graduando em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semiárido, Caraúbas, RN).

IMPORTÂNCIA DA ÁGUA. Disponível em: <<https://www.mundovestibular.com.br/articulos/569/1/IMPORTANCIA-DA-AGUA/Paacutegina1.html>> Acessado em: 22/11/2018.

IMPACTOS DA DESTINAÇÃO DO REJEITO DA DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA EM UMA COMUNIDADE DE JUAZEIRINHO-PB. Braullio, Ewerton. (2013).

USO DO REJEITO DA DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA SALOBRA NO CULTIVO DA ALFACE (*Lactuca sativa*L.) EM SISTEMA HIDROPÔNICO NFT. SANTOS, Rafaelly S. *Ciênc. agrotec.* [online]. 2010, vol.34, n.4, pp.983-989. ISSN 1413-7054.

SISTEMA DE PRODUÇÃO USANDO O REJEITO DA DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA SALOBRA NO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO. Miriam, Cleide.(2003).

SISTEMAS DE DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA SALOBRA SUBTERRÂNEA EM MUNICÍPIOS DO ESTADO DA PARAÍBA – BRASIL Miriam Cleide (2013).

TECNOLOGIA PARA GASTAR MENOS ENERGIA NA DESSALINIZAÇÃO. Disponível em: <<https://ciclovivo.com.br/inovacao/tecnologia/brasileiros-inventam-tecnologia-de-dessalinizacao-de-agua-que-gasta-menos-energia/>> . Acessado em: 23/11/2018.

VAN GERPEN, J. Biodiesel processing and production. Fuel Processing Technology, v. 86, n. 10, p. 1097-1107, 2005. WANG, P.; XU, N.; SHI, J. A pilot study of the treatment of waste rolling emulsion using zircônia micro-filtration membranes. Journal of Membrane Science, v. 173, n. 2, p. 159-166, 2000.

Moura, J.P.; Monteiro, G.S.; Silva, J.N.; Pinto, F.A.; França, K.P. Aplicações do Processo de Osmose Reversa Para o Aproveitamento de Água Salobra do Semi-Árido Nordeste.

## AUTORES

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7920-4107>

**VANESSA ROSALES BEZERRA, MSc.** | Universidade Estadual de Pernambuco | PPGCTA – Doutoranda em Engenharia Ambiental | Campina Grande, PB. Brasil | Correspondência para: Rua Juvêncio Arruda, S/N - CEP: 58429-600 – Campus Universitário, Bodocongó - Campina Grande - PB | E-mail: rosalesuepb@gmail.com

**DATA DE ENVIO:** 08/02/2019

**DATA DE ACEITE:** 21/03/2019

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1301-6066>

**CARLOS ANTÔNIO PEREIRA DE LIMA, Dr.** | Universidade Estadual de Pernambuco | DESA - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental | Campina Grande, PB. Brasil | Correspondência para: Rua Juvêncio Arruda, S/N - CEP: 58429-600 – Campus Universitário, Bodocongó - Campina Grande - PB | E-mail: caplima2000@yahoo.com.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7920-4107>

**VALNELI DA SILVA MELO, MSc.** | Universidade Estadual de Pernambuco | PPGCTA – Doutoranda em Engenharia Ambiental | Campina Grande, PB. Brasil | Correspondência para: Rua Juvêncio Arruda, S/N - CEP: 58429-600 – Campus Universitário, Bodocongó - Campina Grande - PB | E-mail: valnelismello@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5060-584X>

**MARIA VIRGINIA DA CONCEIÇÃO ALBUQUERQUE, MSc.** | Universidade Estadual de Pernambuco | PPGCTA – Doutoranda em Engenharia Ambiental | Campina Grande, PB. Brasil | Correspondência para: Rua Juvêncio Arruda, S/N - CEP: 58429-600 – Campus Universitário, Bodocongó - Campina Grande - PB | E-mail: virginia.albuquerque@yahoo.com.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1462-5963>

**LUIS REYES ROSALES MONTERO, Dr.** | Universidade Federal de Campina Grande | DEE – Engenharia Elétrica | Campina Grande, PB. Brasil | Correspondência para: Rua Aprígio Veloso, 882 - Bairro Universitário - Campina Grande – PB - CEP 58429-900 | E-mail: professorluisreyes@hotmail.com

## COMO CITAR ESTE ARTIGO

BEZERRA, Vanessa Rosales; LIMA, Carlos Antônio Pereira de; MELO, Valneli da Silva; ALBUQUERQUE, Maria Virginia da Conceição; MONTERO, Luis Reyes Rosales. Reutilização de rejeito de dessalinização na Paraíba. **MIX Sustentável, [S.l.], v. 5, n. 1, p. 105-116, mar-jun. 2019.** ISSN 24473073. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: dia mês. ano. doi:<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2019.v5.n1.105-116>.

# ACESSIBILIDADE COMO REQUISITO DE SUSTENTABILIDADE EM OBRA DE BIBLIOTECA EM UNIVERSIDADE

## ACCESSIBILITY AS A REQUIREMENT FOR SUSTAINABILITY IN A LIBRARY WORK AT UNIVERSITY

EMMANUELLE MARIA GONÇALVES LORENA, MSc. | UFPE

CYNTHIA MARIA GONÇALVES LORENA, Esp. | IPOG

ANA PAULA XAVIER DE GONDRA BEZERRA, MSc. | UFPE

ROMILDO MORANT DE HOLANDA, Dr. | UFRPE

FELIPE BEZERRA DE LIMA | UFRPE

JOSICLÉDA DOMICIANO GALVÍNIO | UFRPE

TARCÍSIO SANTOS ALBERTIN, MSc. | UNINASSAU

### RESUMO

No Brasil, cerca de 46 milhões de pessoas declararam ter pelo menos uma deficiência, correspondendo a 23,9% da população brasileira. Questões referentes à acessibilidade, também fazem parte dos critérios de certificação que emitem selo aos empreendimentos que atendem aspectos do meio ambiente e da responsabilidade social. O objetivo do presente estudo foi avaliar os critérios de uma edificação de uma obra pública de instituição de ensino superior. Foi realizado um comparativo das exigências de acessibilidade foi à norma NBR 9050:2015 cuja constam todos os requisitos para tornar um local, um ambiente mais acessível comparado com o projeto arquitetônico de uma edificação destinada à biblioteca da obra pública de ensino superior. O projeto arquitetônico analisado, no geral, atendeu a norma de acessibilidade, sendo um elemento chave para o aprimoramento e desenvolvimento da qualidade na construção civil, o que traz benefícios à população de pessoas de necessidades especiais. No geral, o projeto atende aos requisitos normativos NBR 9050:2015, necessitando de pequeno ajuste. A base para o atendimento aos critérios de sustentabilidade encontram-se em respeito às diferenças promovendo igualdade de benefícios.

**PALAVRAS CHAVE:** NBR 9050; Portadores de necessidades especiais; Inclusão.

### ABSTRACT

In Brazil, about 46 million people reported having at least one disability, corresponding to 23.9% of the Brazilian population. Issues related to accessibility are also part of the certification criteria that seal the projects that attend environmental and social responsibility aspects. The objective of the present study was to evaluate the criteria for a construction of a public work of a higher education institution. A comparison of accessibility requirements was made to the NBR 9050: 2015 standard, which contains all the requirements to make a place, a more accessible environment compared to the architectural design of a building for the public higher education library. The architectural design analyzed, in general, met the accessibility standard, being a key element for the improvement and development of the quality in the civil construction, which brings benefits to the population of people with special needs. In general, the project meets the normative requirements NBR 9050: 2015, requiring a small adjustment. The basis for meeting the sustainability criteria is to respect differences by promoting equal benefits.

**KEY WORDS:** NBR 9050; People with special needs; Inclusion.



## 1. INTRODUÇÃO

Os obstáculos que indivíduos com dificuldade de locomoção necessitam enfrentar em suas atividades diárias são imensas. Mas por meio de ações para assegurar espaços e equipamentos estejam acessíveis podem garantir a convivência e a participação das pessoas, com suas diferenças, em todos os espaços com autonomia e segurança (CALDAS; MOREIRA; SPOSTO, 2015).

No Brasil, cerca de 45 milhões pessoas declararam ter pelo menos uma deficiência, de acordo com o Censo Demográfico (IBGE, 2010). Sendo importante, a implantação de políticas sociais.

Assim, a política de inclusão social de pessoas com deficiência, no Brasil, já está presente desde Constituição Federal em 1988, como medida de cuidar da saúde e assistência pública, da proteção e garantia das pessoas portadoras de deficiência (BRASIL, 1988).

A Lei Federal n. 10.048/2000 estabelece proteção e assistência pública para que os edifícios públicos atendam normas de construção que busquem facilitar o acesso e uso desses locais pelas pessoas portadoras de deficiência. Bem como, o Decreto Federal n. 5.296/2004 descreve que construção, reforma ou ampliação de edificações de uso público ou coletivo devem ser executadas de modo que sejam ou se tornem acessíveis à pessoa com deficiência ou com mobilidade reduzida (BRASIL, 2004).

Outra lei que possibilita a inclusão da Pessoa com Deficiência é Lei Federal n. 13.146/2015 que considera a acessibilidade:

“possibilidade e condição de alcance para utilização, com segurança e autonomia, de espaços, mobiliários, equipamentos urbanos, edificações, transportes, informação e comunicação, inclusive seus sistemas e tecnologias, bem como de outros serviços e instalações abertos ao público, de uso público ou privados de uso coletivo, tanto na zona urbana como na rural, por pessoa com deficiência ou com mobilidade reduzida” (BRASIL, 2015, art. 3º).

A legislação não apenas solicita projetos de espaços e aspectos arquitetônicos, tem uma abrangência maior por considerar o uso de tecnologias para o ambiente ser tornar mais adequado de forma acessível e de uso comum para todos os públicos (DINIZ et al., 2017). De acordo com Guedes e Silva (2017) a aplicação dessa legislação é pouco respeitada no país, o que gera dificuldades de locomoção devido à falta de mobilidade e acessibilidade das edificações públicas.

Uma possível solução no que se refere à acessibilidade desses locais é garantir que todos os aspectos já devam ser incorporados ao projeto da edificação, de maneira que o prédio esteja apropriado a todos (ROCHA; SOUSA; ALBUQUERQUE, 2017).

Com o desenvolvimento sustentável o viés tecnológico e econômico é possível idealizar a construção de uma cidade que oferece o equilíbrio ecológico, econômico e social para seus cidadãos, tendo em vista o bem-estar completo das pessoas que lá habitam e circulam, o que inclui a acessibilidade (RANZAN; PRADO; SOUSA, 2018).

Os Objetivos do Desenvolvimento Sustentáveis (ODS) articula medidas para redução da desigualdade como medida de alcance de um ambiente que garanta a melhoria da qualidade de vida da população. Assim, assegurar o bem-estar e redução da desigualdade são considerados como critério de acessibilidade.

Então, a acessibilidade do local com a fundamentação nos conceitos da sustentabilidade não deve ser encarada como um conjunto de medidas que favorecem apenas as pessoas com deficiência, mas sim como medidas técnico-sociais destinadas a acolher todos os usuários em potencial (GOMES; EMMEL, 2016)

Outra ferramenta legal para o atendimento aos critérios de acessibilidade, no Brasil, é norma regulamentadora ABNT NBR 9050:2015, que estabelece critérios e parâmetros técnicos a serem observados quanto ao projeto, construção, instalação e adaptação do meio urbano e rural, e de edificações às condições de acessibilidade (ABNT, 2015). A norma 9050:2015 foi criada para atender as pessoas que necessitam de um atendimento especial, por isso é muito conhecida como a norma de acessibilidade (ABNT, 2015)

Os edifícios públicos, cada um deles tem uma função ligada ao programa que atende e devem assegurar que todos os cidadãos possam usufruir desses locais, estes devem ser adequados, impedindo assim qualquer forma de exclusão (GOMES; EMMEL, 2016). Principalmente as instituições de ensino que devem garantir que seus espaços físicos sejam mais acessíveis e adequados conforme o aparato legal vigente.

Ressalta que a acessibilidade mesmo projetada e implantada, é necessário uma conscientização de todos os usuários para que os equipamentos, destinados aos cadeirantes e portadores de necessidades especiais, realmente sejam utilizado para esse fim e não ser utilizado com outras atividades (COSTA; DUARTE, 2017).

De acordo com Pivetta et al. (2016) há muitas maneiras de incluir alunos com deficiência no meio acadêmico, que

vai desde da implementação de políticas públicas, fundos e verbas para intervenções arquitetônicas, ou contratação de profissionais e interação das pessoas.

Considerar a inclusão da acessibilidade nos projetos arquitetônicos envolve uma vantagem ainda maior, pois as demandas funcionais dos ambientes podem ser reduzidas, isso significaria uma melhoria para qualquer pessoa com uma limitação e também para o restante da população, ou seja, todos se beneficiariam dos resultados (SANDOVAL, 2018).

Sendo assim, é essencial proporcionar a essa população ambientes acessíveis, visando maior qualidade de vida a parte da população.

Mediante a isso, o objetivo do presente estudo foi avaliar os critérios de uma edificação de uma obra pública de instituição de ensino superior.

## 2. METODOLOGIA

A base para a realização do comparativo das exigências de acessibilidade foi à norma NBR ABNT 9050 (ABNT, 2015) cuja constam todos os requisitos para tornar um local, um ambiente mais acessível comparado com o projeto arquitetônico de uma edificação destinada à biblioteca da obra pública de ensino superior, a planta baixa do prédio (Figura 1).

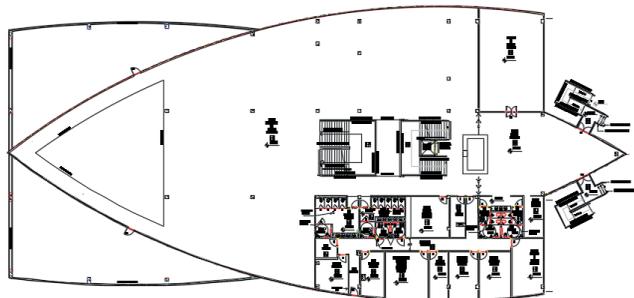


Figura 01 – Planta baixa.

Fonte: Projeto arquitetônico UFRPE, prancha 21/169 – R25, 2018.

Baseado nisso, foi elaborado um check list o qual é uma metodologia para verificações de uma sequencias de itens, registrando o atendimento ou não a cada um dos itens listados (HOLANDA et al., 2017). Os principais itens considerados foram simbologia; dimensão da sinalização; rampa de acesso; dimensões do banheiro; cancelas e acesso ao elevador.

Nos projetos arquitetônicos, desenvolvidos em desenho técnico, podem-se identificar os locais específicos de PCD (pessoa com Deficiência), ou PNE (pessoas com Necessidades Especiais), pelas dimensões e emprego de certos objetos que caracteriza esses locais na planta.

Geralmente as siglas, citadas anteriormente, estão presentes nos projetos, para identificar de forma mais rápida que aquele ambiente atende às normas.

A norma ABNT NBR 9050 (ABNT, 2015) procura tratar de forma bem didáticas algumas simbologias, visando atender ao máximo de pessoas possíveis, mesmo que estas não possuam um nível de escolaridade elevado, como pode-se verificar no item 5.3.5.3 e 5.3.5.4 da mesma, no qual descreve os símbolos de sanitários e de circulação.

A norma aborda também um auxílio sensitivo, pois às pessoas com necessidades especiais (PNE) podem não ter a necessidade apenas motora, mas sim visual, necessitando de outros elementos para o seu próprio deslocamento. Por isso, há também a implantação de um elemento, chamado piso tátil, que é caracterizado por possuir tonalidade e textura diferenciada do piso em geral.

Segundo a ABNT NBR 9050 (ABNT, 2015) algumas das causas de utilização de piso tátil direcional se dá para:

“informar à pessoa com deficiência visual sobre a existência de desníveis ou situações de risco permanente, como objetos suspensos não detectáveis pela bengala longa, orientar o posicionamento adequado da pessoa com deficiência visual para o uso de equipamentos, como elevadores, equipamentos de autoatendimento ou serviços, informar as mudanças de direção ou opções de percursos”

Esse tipo de sinalização é necessário algumas especificações para melhor interação o público-alvo (Quadro 1).

Dimensões em milímetros

Piso tátil de alerta	Recomendado	Mínimo	Máximo
Diâmetro da base do relevo	25	24	28
Distância horizontal entre centros de relevo	50	42	53
Distância diagonal entre centros de relevo	72	60	75
Altura do relevo	4	3	5
NOTA A distância do eixo da primeira linha de relevo até a borda do piso é igual à metade da distância horizontal entre centros. O diâmetro do topo é igual à metade a dois terços do diâmetro da base, respeitando-se os limites acima.			
Relevos táteis de alerta instalados no piso	Recomendado	Mínimo	Máximo
Diâmetro da base do relevo	30	25	30
Diâmetro do topo do relevo	½ do diâmetro da base		
Distância diagonal entre centros do relevo	Diâmetro da base do relevo mais 20		
Altura do relevo	4	3	5

Quadro 01 – Dimensão da sinalização tátil e visual de alerta.

Fonte: NBR 9050, p. 48

Ainda seguindo as orientações especificadas na norma, há uma determinação de que deve ser instalado o piso direcional no sentido do deslocamento dos pedestres,

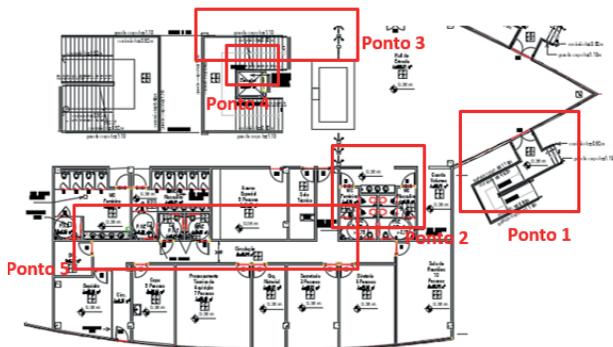
indicando os caminhos que devem ser atendidos preferencialmente, quando não houver linhas guia ou algo do gênero que permita a fácil compreensão da indicação de caminho, sensível, diferentemente da sinalização tátil e visual de alerta, na sinalização visual tátil e direcional é composta de relevos lineares dispostos de forma regular, permitindo assim a compreensão por meio do toque ou até visualmente da continuidade das faixas (Quadro 2).

Dimensões em milímetros

Piso tátil direcional	Recomendado	Mínimo	Máximo
Largura da base do relevo	30	30	40
Largura do topo	25	20	30
Altura do relevo	4	3	5
Distância horizontal entre os centros de relevo	83	70	85
Distância horizontal entre as bases de relevo	53	45	55
Relevos táteis direcionais instalados no piso	Recomendado	Mínimo	Máximo
Largura da base do relevo	40	35	40
Largura do topo do relevo	Largura da base do relevo menos 10		
Distância horizontal entre centros do relevo	Largura da base do relevo mais 30		
Altura do relevo	4	3	5

**Quadro 02** – Dimensão da sinalização tátil e visual direcional  
 Fonte: NBR 9050, pg. 48

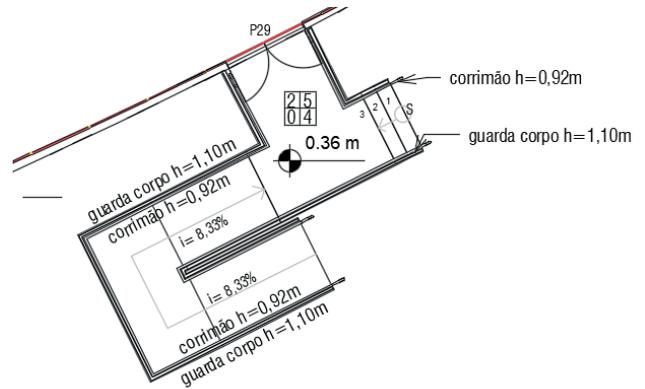
Para a análise dos principais pontos no projeto arquitetônico da biblioteca da instituição de ensino selecionada, sinaliza os locais que foram analisados para esse estudo (Figura 2).



**Figura 02** – Indicação dos locais analisados figuras.  
**Legenda:** Ponto 1 - Escada e rampa de acesso à edificação;  
 Ponto 2 - Escada e rampa de acesso à edificação.  
 Ponto 3 - Acesso principal e das escadas;  
 Ponto 4 - Acesso ao elevador;  
 Ponto 5 - Circulação.  
 Fonte: Projeto arquitetônico UFRPE, prancha 21/169 – R25, 2018.

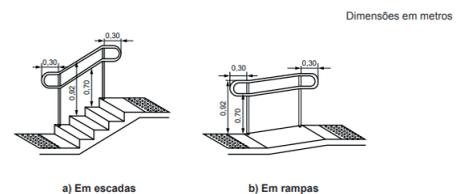
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao analisar o ponto 1, que representa a escada e a rampa de acesso a edificação da biblioteca, pode-se observar claramente o atendimento das normas estabelecidas pela NBR9050 que são voltadas para rampa de acesso (Figura 3).

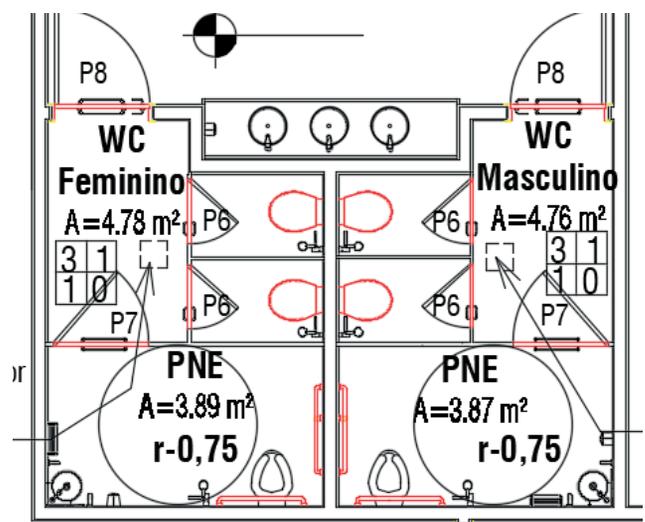


**Figura 03** – Escada e rampa de acesso à edificação.  
 Fonte: Projeto arquitetônico UFRPE, prancha 21/169 – R25, 2018.

Com a imagem acima, foi possível compreender que a escada atende parcialmente a norma, onde ela está correta em relação à inclinação da rampa (Figura 4), que deve ser de no máximo 8,33%, com a altura do corrimão de no máximo 0,92m, com este avançando após a escada e rampa em 0,30cm para facilitar o acesso aos equipamentos. Porém está faltando à sinalização tátil e visual de alerta antes da rampa e escada de acesso à edificação, pois o PNE deve ser orientado previamente sobre a alteração em seu trajeto.



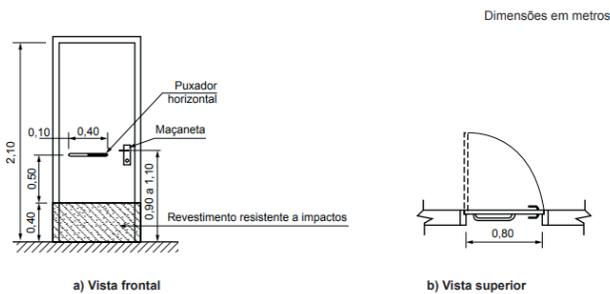
**Figura 04** – Comportamento de rampa e escada de acordo com a norma.  
 Fonte: NBR 9050, pg. 63



**Figura 05** – Escada e rampa de acesso à edificação.  
 Fonte: Projeto arquitetônico UFRPE, prancha 21/169 – R25, 2018.

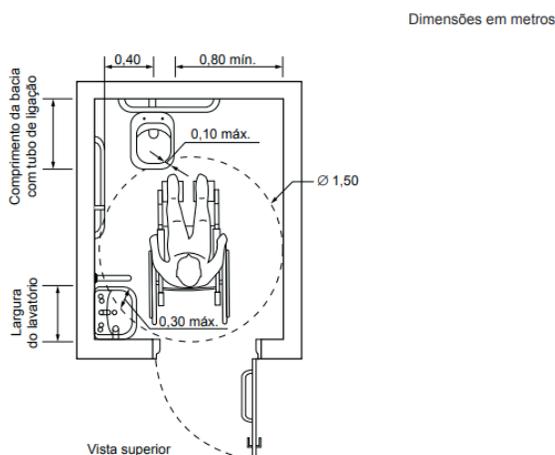
Na figura 5, tratam-se da acessibilidade dos banheiros, que por sua vez possuem bastante detalhes para o atendimento da norma, pois apresentam muitas medidas que devem ser conferidas com cuidado. Observou-se que o projeto foi sinalizado, contendo a sigla que indica a utilização desse local para as pessoas de necessidades especiais (PNE).

Com relação às medidas, o projeto arquitetônico atende perfeitamente a normativa. Este equipamento deve possuir um giro completo com raio de 0,75m que compreende ao cadeirante poder se locomover de forma mais apropriada dentro do recinto. Suas portas devem sempre abrir para o lado externo, auxiliando dessa forma a rota de fuga. Esta porta deve possuir 0,80m de comprimento por 2,10m de altura (valor mínimo do comprimento), em sua base um revestimento que resista a impactos e o puxador horizontal com comprimento de 0,40m, estando há uma altura de 0,90cm (Figura 6).



**Figura 06** – Porta de WC acessível.  
**Fonte:** NBR 9050, p. 71

Ainda verificando a figura 7, pode-se compreender que, as barras laterais de apoio, horizontais e verticais se enquadram perfeitamente dentro das normas técnicas, onde possuem os afastamentos.



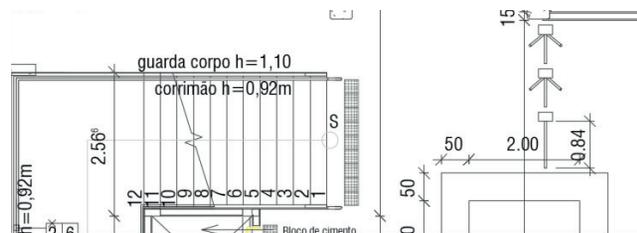
**Figura 07** – Medidas mínimas do wc acessível com dimensões em metros.  
**Fonte:** NBR 9050, pg. 71

Essas barras de apoio próximas ao vaso sanitário servem para que o cadeirante possa fazer a transferência da cadeira de rodas para o assento sanitário de forma precisa e rápida, e a barra de apoio próxima à pia se dá para que o cadeirante possa se segurar nela ao puxá-la fazendo seu corpo junto com a cadeira de rodas chegar mais próximo à pia, sem ter que apoiar na mesma, evitando sua quebra e machucados ao PNE.

Também é possível verificar que o diâmetro de 1,50m de giro pode avançar sob a privada em até 0,10cm e sob a pia em até 0,30cm desde que ambos os equipamentos estejam com esses espaços descritos em suas bases livres.

Ao comparar com o projeto arquitetônico, observou-se que não houve necessidade de alterações ou adequações, pois este WC – PNE possui espaço suficiente para o giro e locomoção em seu interior.

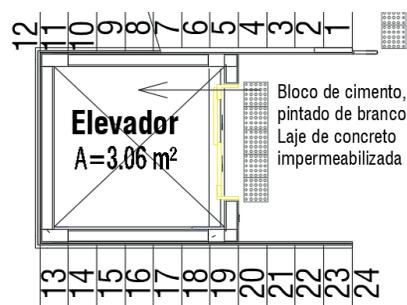
Com relação ao acesso principal ao prédio, equipamentos como as catracas não atendem a necessidade do cadeirante ou PNE, por isso que ao lado destas foi instalada uma cancela, com as medidas apropriadas, facilitando desta forma o acesso das PNE (Figura 8).



**Figura 08** – Acesso principal e das escadas.  
**Fonte:** Projeto arquitetônico UFRPE, prancha 21/169 – R25, 2018.

Ainda na figura anterior, percebeu-se a presença do piso tátil e visual de alerta antecedendo a escada, está ainda com o corrimão avançando os 03 cm após o seu término com altura de 0,92cm, o que se apresenta em conformidade com norma.

Como o elevador também é um elemento onde é necessária uma atenção mais elevada se tornou indispensável a instalação de um piso tátil e visual de alerta, para conscientizar que ali tem um equipamento que pode ser perigoso (Figura 9).



**Figura 09** – Acesso ao elevador  
**Fonte:** Projeto arquitetônico UFRPE, prancha 21/169 – R25, 2018.

Relativo à circulação cujo é o ponto onde o PNE terá acesso aos ambientes dispostos na edificação. Nesta edificação houve o cuidado de manter a circulação com a largura de 1,50m, fazendo com que o cadeirante possa dar um giro completo em qualquer posição deste corredor, sem ter a necessidade de utilizar a abertura de uma porta para tal procedimento (Figura 10).

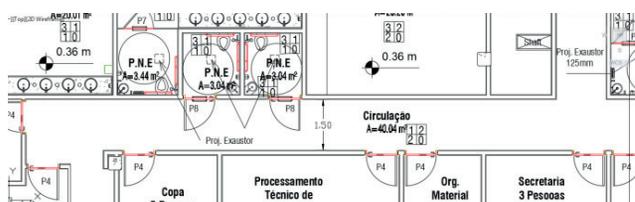


Figura 10 – Circulação

Fonte: Projeto arquitetônico UFRPE, prancha 21/169 – R25, 2018.

### 3. CONCLUSÃO

O projeto arquitetônico analisado, no geral, atendeu a norma de acessibilidade, sendo um elemento chave para o aprimoramento e desenvolvimento da qualidade na construção civil, o que traz benefícios à população de pessoas de necessidades especiais e cadeirantes. Quando a acessibilidade é considerada desde o início de um projeto, não há somente uma melhoria nas soluções arquitetônicas, como também atende aos critérios de sustentabilidade.

Ou seja, a base para o atendimento aos critérios de sustentabilidade encontra-se em respeito às diferenças promovendo igualdade de benefícios. O fato de projeto arquitetônico ser de uma universidade incentiva o atendimento desses preceitos em futuros projetos.

No geral, o projeto atende aos requisitos normativos NBR 9050:2015, necessitando de ajuste em apenas um ponto. Apesar da existência das legislações e normativas que fornecerem subsídio para à acessibilidade as pessoas com deficiência e com necessidades especiais, ainda não há um grande número de instituições de ensino públicas e privadas perfeitamente adaptadas, então é importante garantir que na fase de elaboração do projeto, todas as determinações sejam atendidas, como foi o caso do projeto arquitetônico desse estudo.

### REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9050: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro, 2015.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 5 de outubro de 1988. Brasília, 1988

BRASIL. Lei Nº 10.048, de 08 de novembro de 2000. Dá prioridade de atendimento às pessoas que especifica, e dá outras providências. **Diário oficial da União** [DOU], Brasília, 09 de nov. de 2000.

BRASIL. Decreto nº 5.296 de 2 de dezembro de 2004. Regulamenta as Leis nºs 10.048, de 8 de novembro de 2000, que dá prioridade de atendimento às pessoas que especifica, e 10.098, de 19 de dezembro de 2000, que estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, e dá outras providências. **Diário Oficial da União** [DOU], Brasília, 3 de dez. de 2004.

BRASIL. Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015, que Institui a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência: Estatuto da Pessoa com Deficiência. **Diário Oficial da União** [DOU], Brasília, 7 de jul. de 2015.

CALDAS, L. R.; MOREIRA, M. M.; SPOSTO, R. M. Acessibilidade para Pessoas com Mobilidade Reduzida Segundo os Requisitos da Norma de Desempenho - Um Estudo de Caso para as Áreas Comuns de Edificações Habitacionais de Brasília – DF. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v.10, nº 2, 23-28, 2015.

COSTA, M. K. A.; DUARTE, A. B. S.. A (in)acessibilidade nas bibliotecas universitárias: a interação entre o bibliotecário de referência e o usuário com deficiência. **Revista Brasileira de Biblioteconomia e Documentação**, v. 13, n. 2, p. 161-178, 2017

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2010. **Características gerais da população, religião e pessoas com deficiência**. 2010. Disponível em: <[https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/94/cd\\_2010\\_religiao\\_deficiencia.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/94/cd_2010_religiao_deficiencia.pdf)>. Acesso em: 25 jul. 2018.

DINIZ, C. N.; TAMASHIRO, M. DO N. S.; SANTOS, M. P.L.; PERES, V. DE A.. Acessibilidade em Biblioteca Escolar: estudo de caso do Instituto Federal do Rio de Janeiro - Campus Paracambi-RJ. **Inf. Pauta**, v. 2, número especial, 2017.

GOMES, L.; EMMEL, M. L. G. Mapeamento da acessibilidade em edifícios públicos de cultura. **Cad. Ter. Ocup.**, v. 24, n. 3, 519-530, 2016.

GUEDES, V. N.; SILVA, A. F. A da. Avaliação das condições de acessibilidade em edificações públicas de serviço de assistência social em Recife-PE. **Revista Nacional de gerenciamento de Cidades**, v. 05; nº29, 18-29, 2017.

HOLANDA, R. M.; BEZERRA, A. P. X. G.; LORENA, E. M. G.; SANTOS, Í. G. S.. **Ferramentas da qualidade aplicados à gestão ambiental**. Recife: Editora Universitária da UFRPE, 179p., 2017.

MACHADO, M. D.; DI BELLO, R. C.O.; RIBEIRO, V. H. M.. Acessibilidade nas edificações públicas federais: contribuições das auditorias de obras do TCU. **Revista do TCU**, v. 133, 66-81, 2015.

NASCIMENTO, R. M. do; NANYA, L. M.. CERTIFICAÇÃO LEED PARA PROJETO DE ARQUITETURA. *Revista Científica UNILAGO*, v.1, n.1,3-10, 2017.

PIVETTA, E. M.; ALMEIDA, A. M. P.; SAITO, D. S.; ULBRICHT; V. R.. Desafios da acessibilidade no ensino superior: estudo de caso na Universidade de Aveiro. **Educação (Porto Alegre)**, v. 39, n. 2, 166-174, 2016.

UFRPE. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Projeto arquitetônico UFRPE, prancha 21/169 – R25, 2018.

RANZAN, E. M.; PRADO, G. M. B. C.; SOUSA, R. P. L. O uso do desing thinking para descrever as marcas do local: mobilidade urbana e sustentabilidade. **Produção em foco**, v. 08, n. 01: p. 41-59, 2018.

ROCHA, G. S.; SOUSA, R. J. S.; ALBUQUERQUE, F. W. P. Avaliação sobre acessibilidade das instalações de escolas na cidade de Caxias/MA. **Revista Brasileira de Iniciação Científica**, v.4, n.6, p.47-60, 2017.

SANDOVAL, J. M. J.. Accessibility, Heritage, and Project. Re-architectures for everyone. **Millenium**, v.2, n.7, p.103-111, 2018.

## AUTORES

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0888-4034>

**EMMANUELLE MARIA GONÇALVES LORENA, MSc.** | Universidade Federal de Pernambuco | Engenharia Ambiental | Recife, PE - Brasil | Correspondência para: Rua Operário Antonio Anastacio, 158, Vitória de Santo Antão - PE, 55612-385 | Email: [emmanuelle@lorenas.com.br](mailto:emmanuelle@lorenas.com.br)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1466-146X>

**CYNTHIA MARIA GONÇALVES LORENA, Esp.** | Instituto de Pós-graduação e Graduação | Arquitetura | Recife, PE - Brasil | Correspondência para: Rua Jardim Heliópolis, 21, Vitória de Santo Antão - PE, 55612-390 | E-mail: [cynthia@lorenas.com.br](mailto:cynthia@lorenas.com.br)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4669-9673>

**ANA PAULA XAVIER DE GONDRA BEZERRA, MSc.** | Universidade Federal de Pernambuco | Engenharia Ambiental | Recife, PE - Brasil | Correspondência para: Rua Barreiros, 252, Paulista - PE, 53439-100 | Email: [anapaula.gondra@gmail.com](mailto:anapaula.gondra@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7945-3616>

**ROMILDO MORANT DE HOLANDA, Dr.** | Universidade Federal Rural de Pernambuco | Departamento de Tecnologia Rural | Recife, PE - Brasil | Correspondência para: Rua Dom, R. Manuel de Medeiros, S/N - Dois Irmãos, Recife - PE, 52171-900 | Email: [romildo.morant@gmail.com](mailto:romildo.morant@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7576-5321>

**FELIPE BEZERRA DE LIMA** | Universidade Federal Rural de Pernambuco | Engenharia Civil | Recife, PE - Brasil | Correspondência para: Rua Dom, R. Manuel de Medeiros, S/N - Dois Irmãos, Recife - PE, 52171-900 | Email: [felipelimafbl@hotmail.com](mailto:felipelimafbl@hotmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4891-8470>

**TARCÍSIO SANTOS ALBERTIN, MSc.** | UNINASSAU | Arquitetura e Urbanismo | Recife, Pernambuco (PE) - Brasil | Correspondência para: R. Tamareira, 01, QD. 2M - Jordão, Recife - PE, 51260-200 | E-mail: [tarcisio\\_santos88@hotmail.com](mailto:tarcisio_santos88@hotmail.com)

## COMO CITAR ESTE ARTIGO

LORENA, Emmanuelle Maria Gonçalves; LORENA, Cynthia Maria Gonçalves; BEZERRA, Ana Paula Xavier de Gondra; HOLANDA, Romildo Morant de; LIMA, Felipe Bezerra de; GALVÊNCIO, Josiclêda Domiciano; ALBERTIN, Tarcísio Santos. Acessibilidade como requisito de sustentabilidade em obra de biblioteca em universidade. **MIX Sustentável, [S.l.], v. 5, n. 1, p. 117-124, mar-jun. 2019.** ISSN 24473073. Disponível

em: <http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>. Acesso em: dia mês. ano. doi: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2019.v5.n1.117-124>.

**DATA DE ENVIO:** 26/12/2018

**DATA DE ACEITE:** 20/03/2019

# SOLUÇÕES DE MORADIA RESISTENTE ÀS INUNDAÇÕES PARA A ILHA MAUÁ

*FLOOD-PROOF HOUSE SOLUTION TO ILHA MAUÁ*

TAMARA OLIVO GOULARTE | UNISINOS

VERA LUCIA DUTRA MASCARELLO | UNISINOS

## RESUMO

O artigo mostra um projeto de moradia resistente às inundações, para áreas vulneráveis. O estudo de caso foi feito na Ilha Mauá, situada no município de Porto Alegre, onde moradores sofrem os impactos das inundações, em decorrência do aumento do nível das águas do Lago Guaíba, entrando em suas casas e destruindo seu lar. Construção elevada, compacta e com possibilidade de flutuação, são as principais características do projeto, que possibilita a reestruturação da comunidade, amenizando o impacto das inundações e tornando-a mais resiliente, além de não agredir a geografia natural do local. O projeto foi elaborado a partir das informações coletadas com os moradores locais, por meio de entrevistas realizadas durante visitas, onde ficou evidente a forte ligação com a Ilha e a importância de ali seguirem vivendo, mesmo com difíceis circunstâncias. O objetivo é que este projeto possa incentivar futuras investigações e construções para moradias informais em áreas de risco à inundação, evitando que inúmeras famílias percam o pouco que possuem.

**PALAVRAS CHAVE:** Habitação; Desastres; Vulnerabilidade; Mitigação; Resiliência.

## ABSTRACT

*The article shows a flood-resistant housing project for vulnerable areas. The case study was carried out on Mauá Island, located in the municipality of Porto Alegre, where residents suffer the impacts of floods due to the increasing water levels of Guaíba Lake destroying their homes. A high construction, compact and with possibility of fluctuation, are the main characteristics of the project, that allows the restructuring of the community, mitigating the impact of the floods and making it more resilient, besides not harming the natural geography of the place. The project was based on the information collected from local residents, through interviews during visits, where the strong connection with the Island and the importance of living there were evident, even in difficult circumstances. The goal is for this project to encourage future investigations and constructions for informal housing in flood risk areas, preventing many families from losing what little they have.*

**KEY WORDS:** Housing; Disasters; Vulnerability; Mitigation; Resilience



## 1. INTRODUÇÃO



**Figura 01** – Localização  
**Fonte:** Google Earth e autores



**Figura 02** – Ilha Mauá  
**Fonte:** Google Earth e autores

A Ilha Mauá pertence ao Bairro Arquipélago de Porto Alegre, composto por 16 ilhas. As principais ocupações são datadas do século XVI, e seus primeiros habitantes foram índios guaranis. Os habitantes das ilhas adaptaram seu modo de vida às condições naturais da região, um território de extensas áreas verdes e grande biodiversidade, se ajustando na natureza para ali construir sua moradia e estabelecendo forte ligação com o Lago Guaíba.

Até os anos 70 a pesca era a principal atividade econômica da Região das Ilhas, sendo o barco meio de transporte para trabalho e locomoção ao centro de Porto Alegre. Pela proximidade com o centro da cidade, houve grande aumento populacional ao longo dos anos, na região das ilhas. Por se tratar de invasões, a maioria dos moradores da Ilha

Mauá vive em residências bastante humildes, e quando o nível do Guaíba aumenta, estas famílias são os primeiros a sentirem os impactos das águas. Apesar das muitas dificuldades enfrentadas junto ao Arquipélago, principalmente pelos freqüentes alagamentos, os moradores encontram alternativa de atividade econômica na coleta e seleção de resíduos sólidos, gerando fonte de renda e ao mesmo tempo auxiliam a preservar a natureza local.

Desde 1976 o Arquipélago faz parte do Parque Estadual do Delta Jacuí (PEDJ), uma das maiores Unidades de Conservação do Estado. As áreas com características urbanas ficam inseridas na Área de Proteção Ambiental (APA) e excluídas do Parque, com regras de proteção ambiental e uso do território, específicos para esta área. A APA tem como objetivo básico disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais.

Hoje, o conjunto é formado por aproximadamente 85 residências, com média de 3 habitantes cada, variando entre 2 a 6 habitantes por moradia. O material predominante nas construções é a madeira, poucas em alvenaria tradicional e muitas utilizam lonas, papelão, chapas metálicas e telhas de fibrocimento, como complemento na construção. Por se tratar de uma área com o solo bastante úmido e com histórico de inundação, a maioria das residências são elevadas do nível do solo, para evitar que a cada chuva a água inunde o interior da residência. Além do risco de destruição pelas águas, é importante evitar o contato com águas que possam estar contaminadas, pelo risco de contrair doenças infecciosas.

Na Ilha é muito comum a prática de construir o “puxadinho”, que nada mais é que um acréscimo a casa já existente. O puxadinho pode ser construído como uma ampliação da casa já existente, geralmente o proprietário vai aumentando a casa aos poucos, de acordo com a renda disponível, ou o espaço no terreno é doado para filhos que estão constituindo um novo núcleo familiar.

A seguir as fotos mostram como são as construções hoje na Ilha Mauá, que tem como características em comum o uso misto de materiais e a elevação do solo.



**Figura 03** – Residências  
**Fonte:** Autores



**Figura 04** – Ilustração perigos durante inundações  
**Fonte:** Autores

De acordo com os relatos dos moradores da Ilha, os efeitos de uma cheia podem ser devastadores, podendo variar desde perda de mobiliário interno e eletrodoméstico até a destruição e deslocação da própria casa, quando as águas passam com correnteza. Além da destruição em decorrência da água, os moradores colocam sua vida em risco para permanecer e vigiar a casa, enquanto a água vai invadindo seu lar, para garantir que não ocorram furtos.

Devido à forte ligação dos moradores com a Ilha local, o projeto garante moradia adaptável às constantes inundações. Para que houvesse um entendimento maior da importância da Ilha Mauá para os que nela residem, ou seja, qual o motivo de seguirem vivendo no local após tantos episódios de cheias, foram realizadas três visitas à Ilha, com entrevistas feitas aos moradores. A maioria nasceu na Ilha ou se mudou ainda muito jovem para o local, também existem os que se mudaram já adultos, para morar com quem já tem uma vida na Ilha. Quando questionados sobre o que mais os incomoda, a maioria comenta sobre a dificuldade de enfrentar os períodos de cheias e as perdas de bens materiais. Apesar de todas as dificuldades que enfrentam, a maioria afirma que jamais sairá da Ilha, devido as fortes referências ao lugar.

A sede da APA (Área de Proteção Ambiental) está localizada na entrada da Ilha e, também através de visitas, foi possível coletar dados importantes sobre as cotas de nível das cheias mais comuns e das maiores já registradas, a legislação aplicável às áreas de proteção e também levantamento histórico da região das ilhas.

Com base nos dados coletados com os moradores, com a APA e no que foi observado no local, a idealização é que o projeto possa aproximar-se ao máximo do que seria a condição ideal de construção para se viver na Ilha. Sendo assim, o foco principal da pesquisa é desenvolver um projeto de habitação elevada em pilotis, para proteção às cheias mais comuns, e com sistema de flutuação acoplado, prevendo cheias muito grandes.

## 2. VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL

As cidades estão produzindo uma instabilidade social desastrosa e levando a um declínio ambiental adicional (ROGERS, 2001), onde a maior parte da produção habitacional se faz à margem da lei, pela falta de alternativas habitacionais (MARICATO, 2001). Os assentamentos informais estão em área impróprias, geralmente inundáveis ou de grande declividade, o que os torna indefesos frente a danos naturais (ROGERS, 2001). Para Alves e Torres (2006), o termo *vulnerabilidade socioambiental* pode ser usado para integrar a dimensão social e ambiental do risco, simultaneamente.

Em todo o mundo, mas especialmente nos países mais pobres, a população vulnerável sofre impactos repetidos, múltiplos e mutuamente impulsionados contra suas vidas, seus assentamentos e meios de subsistência, eliminando as oportunidades de mitigação perante possíveis desastres. Com os efeitos climáticos ocorrendo cada vez com mais intensidade, as diferentes possibilidades e capacidades de lidar com situações de risco, de contorná-las ou compensá-las, acabam sendo desigualmente distribuídas na sociedade (BECK, 2010; BONDUKI, 2017).

Segundo a organização Architecture for Humanity (2012), o número total de desastres naturais noticiados a cada ano em todo o mundo tem aumento significativamente durante as últimas décadas. A referida organização afirma que no ano de 2007 cerca de 40 milhões de pessoas estavam vivendo em áreas com risco de inundações, habitando encostas de rios e oceanos, e apura que para o ano de 2075 este número deverá subir para 150 milhões de pessoas habitando áreas com risco a inundações.

No cenário brasileiro, em pesquisa realizada pela CEPED (2016), é possível observar a intensificação dos desastres a partir do ano 2000. Dentre o número total de mortes causadas por desastres naturais, os de origem hidrológica são responsáveis por 71,55% em todo o país. No Estado do Rio Grande do Sul foram feitos 413 registros oficiais de inundações caracterizadas como desastre, entre os anos de 1991 e 2012 (CEPED, 2012).

De acordo com a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE) inundações são desastres Hidrológicos, que tem como característica:

Submersão de áreas fora dos limites normais de um curso de água em zonas que normalmente não se encontram submersas. O transbordamento ocorre de modo gradual, geralmente ocasionado por chuvas prolongadas em áreas de planície.

Dombrowsky (1998) enfatiza a importância de esclarecer que fenômenos naturais desempenham um papel muito importante como iniciadores do desastre, ou seja,

os desastres não causam efeitos, os efeitos são o que chamamos de desastre. Os mais despreparados serão os que mais sentirão os impactos, são os países mais pobres e dependentes, as regiões mais desfavorecidas, os habitantes de terra com menos recursos (LAVELL, 1993; BELL e WAKEFORD, 2008), e esta situação é o resultado da evolução histórica de processos sociais, econômicos e políticos.

A perda do lar constitui não somente um trauma e a privação física, mas também o rompimento de valores de identidade, dignidade e privacidade (BARAKAT, 2003). Partindo da importância em prover residência adaptável para população de baixa renda, Prithula Prosun trabalhou para projetar e construir a primeira casa de tecnologia à prova de inundações (*Low Income Flood-proof Technology – LIFT*), para a cidade de Dhaka, em Bangladesh. O sistema da casa LIFT foi projetado para flutuar duas unidades residenciais, conectadas ao núcleo central fixo, que serve como guia para flutuação e permite que as unidades retornem ao nível do solo à medida que a água recua (ARCHITECTURE FOR HUMANITY, 2012).

Bell e Wakeford (2008) afirmam que conforme a população vai aumentando e a demanda habitacional também, os projetistas devem pensar em maneiras de adaptação às adversidades impostas pelo contexto local. Para minimizar os impactos da natureza na construção e estarem em harmonia com o ambiente natural, os projetos devem ter como diretriz principal respeitar as leis da natureza e adaptar-se a elas. Assim, o aumento do nível das águas não deve ser visto como uma ameaça, mas uma circunstância a qual podemos nos adaptar (ARCHITECTURE FOR HUMANITY, 2012).

### 3. O PROJETO

O conjunto é composto por 90 residências, ocupando uma área total de 45.000 m<sup>2</sup>. Sem agredir a paisagem natural, o objetivo do projeto é garantir que os moradores da Ilha Mauá tenham moradia adaptável aos períodos de cheias e de estiagem, priorizando a harmonia com a natureza e o convívio em vizinhança. A composição dá-se pelas residências elevadas e com sistema de flutuação, com possibilidade de expansão, e por caminhos elevados e no nível do solo, interligados por rampas e escadas. O material principal idealizado para toda a construção é a madeira de eucalipto, devidamente tratado, abundante nos arredores de Porto Alegre. Também fazem parte do conjunto áreas compartilhadas destinadas ao plantio, centro comunitário, praça multiuso, mirante e um píer.

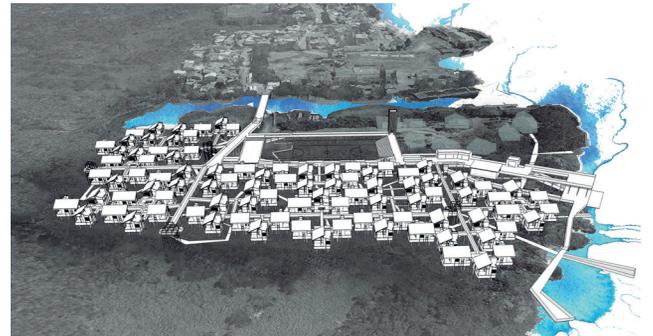


Figura 05 – Implantação projeto da Ilha Mauá  
Fonte: Autores



Figura 06 – Residências tipo  
Fonte: Autores

Com crescimento espontâneo a partir dos anos 70, de famílias que foram instalando-se na Ilha, a população foi aumentando muito e as construções começaram a ficar muito próximas do Guaíba. Por se tratar de uma área de invasão as legislações do município não prevêm normas de construção para áreas de ocupação informal. Hoje a Ilha Mauá, e todas as ilhas do arquipélago, estão sendo acompanhadas pela APA que, pensando nas comunidades e na preservação do local, desenvolveu uma série de diretrizes e indica uma distância mínima de 15m de margem, entre o Guaíba e alguma construção.

Para não interferir no percurso das pessoas, os automóveis têm uma área restrita logo ao ingressar a Ilha, a prioridade é do pedestre, com exceção para chegada de uma ambulância.

Todo o projeto foi feito de acordo com as necessidades impostas pela comunidade. Cada percurso é tratado com diferentes níveis de privacidade, sendo estes: público, pessoal, social e íntimo. A sobreposição de geração e os laços de amizade são características marcantes. A unidade de vizinhança, formado por três casas, é a menor unidade de conjunto que oferece nível mais restritivo.

### 3.1. Modelos de habitação

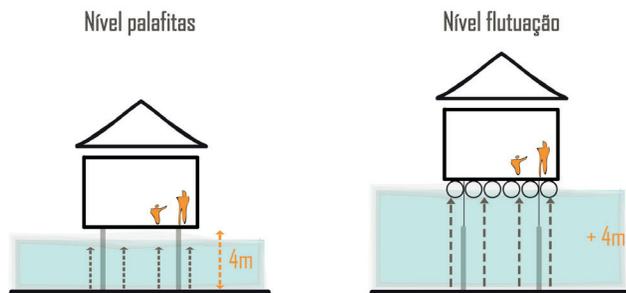


Figura 07 – Sistema elevado e flutuante  
Fonte: Autores

Como releitura das moradias preexistentes na Ilha, as casas apresentam traços construtivos tradicionais, com tecnologia atual, sem perder a essência do lugar. É importante que o desenho do módulo habitacional seja familiar aos habitantes da Ilha.

De acordo com o número de habitantes na Ilha, o projeto estipula uma média de três habitantes por habitação. Para melhor poder atender as necessidades de cada família, foram desenvolvidos três tipos de habitação: o Tipo 1, Tipo 2 e Tipo 2.1. De acordo com o modelo tipo de habitação, inicialmente as residências podem acomodar desde duas até quatro pessoas, e com a possibilidade de ampliação a população pode aumentar para quatro e até seis habitantes.



Figura 08 – Plataforma flutuante  
Fonte: Autores

Como característica, os ambientes internos são compactos e priorizam a ventilação e a iluminação natural. Os protótipos flutuantes são modulares e com espaço livre destinado a futuras ampliações, para melhor atender a demanda das famílias. Este espaço de ampliação é uma releitura usando o conceito do puxadinho, método de ampliação comumente adotado quando uma residência já não comporta a demanda.

### 3.2. Plataforma elevada e flutuante

As estruturas estão elevadas em palafitas, não interferindo na geografia natural do terreno e tampouco na vegetação, deixando o terreno livre e permeável.

As residências estão construídas a 4m do solo, a cota foi adotada com base nos levantamentos das inundações mais típicas na região, assim, na maioria dos eventos as casas não entram em contato com a água das cheias. Para garantir que as residências tampouco fiquem submersas em inundações com cota acima de 4m, foi desenvolvido um sistema de plataforma flutuante, para cada residência.

As casas contam com sistema de flutuação que é acionado quando a água ultrapassa os 4m de elevação e causa pressão no colchão de ar (composto por tambores plásticos de 90L, reutilizáveis, cheios de ar, abaixo de cada casa). O nível máximo de flutuação é de 7m do nível do solo, e quando as águas baixam a casa volta ao seu lugar de origem, sobre as palafitas.

O sistema de flutuação é composto, basicamente, por duas partes: a base fixa e a plataforma flutuante. A base fixa é composta por sapatas de concreto que ficam em contato com o solo e dão suporte às palafitas, travadas entre si por vigas. A base flutuante é composta por duas camadas de vigas, onde as primeiras fazem a ligação com a parte fixa, ou seja, são encaixadas nas palafitas, e as segundas que dão suporte estrutural para a construção da residência, logo acima. Os tambores plásticos de 90L ficam acoplados dentro da base flutuante e são fixados à estrutura por uma tela de aço, que impede os tambores de escapem.

A elevação é guiada por trilhos de metal, que fazem a ligação do pilar fixo e da plataforma flutuante, e travadas por cabos flexíveis.

### 3.3. Procedimentos metodológicos na construção

Para a construção de um módulo habitacional é necessário, primeiramente, identificar qual o Tipo da residência e sua localização exata. A residência Tipo 1 é elevada por 6 palafitas enquanto as do Tipo 2 e 2.1 são elevadas por 8 palafitas. Inicialmente é feita uma sapata isolada para cada pilar, concretada com a chapa metálica, que servirá

de ligação ao pilar. Após o período de cura do concreto é providenciado a instalação dos pilares, e também as vigas que ficam fixadas no pilar.

As vigas e pilares são de madeira e devem estar com o tamanho exato para facilitar a execução da próxima fase. A base do sistema flutuante deve ser montada no chão e posteriormente deve ser posicionada sobre os pilares, para que seja possível a instalação dos pinos e guia para flutuação. A rede e os tambores plásticos são posicionados na base flutuante.

Após a base fixa e flutuante serem instaladas, é possível dar seqüência na construção da residência, inserindo pilares, painéis de vedação e cobertura. Por fim os acabamentos finais e aberturas.

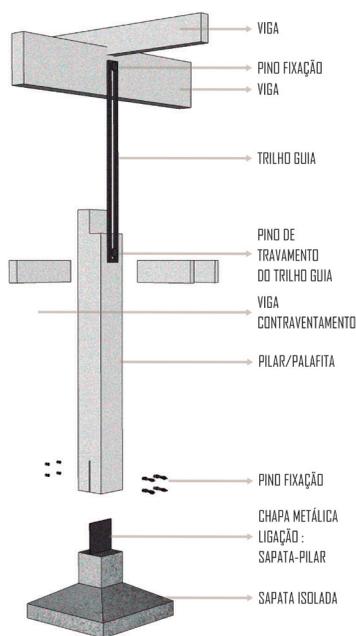


Figura 09 – Detalhe palafita com sistema flutuante  
Fonte: Autores

### 3.4. Unidade de vizinhança

A proposta do projeto é criar espaços de convivência onde os moradores possam interagir entre si, espaços que incentivem as atividades em conjunto e as crianças possam ser livres para brincar.



Figura 09 – Detalhe palafita com sistema flutuante  
Fonte: Autores

Abaixo das passarelas está o local destinado ao plantio coletivo, que são irrigadas pela água da coleta das chuvas, onde juntos possam trabalhar para auxiliar no sustento da família.

Cada núcleo de vizinhança é composto por três residências e o espaçamento mínimo adotado entre residências de núcleos distintos é de 3m. A idéia é potencializar ao máximo a vivência em vizinhança, onde os moradores estejam sempre em contato com o exterior, mas ao mesmo tempo sem perder a privacidade.

## 4. CONSIDERAÇÕES

A escolha do tema vem de encontro a uma demanda real, um enfrentamento complexo que envolve uma comunidade informal na Ilha Mauá, banhado pelo Rio Guaíba, pertencente a Porto Alegre. Onde vivem em situação de grande vulnerabilidade nas margens do Rio e sofrem os efeitos devastadores das seguidas cheias que ali acontecem.

O projeto é cuidadoso com a história do lugar, registra elementos relevantes para a construção do programa de necessidades e a implantação das novas moradias, por meio de pesquisas e levantamentos precisos de dados. O projeto engloba, dialoga e articula funções primordiais dos usuários, toma como referência as relações existentes com o Rio e entre eles com muita propriedade.

O partido arquitetônico adotado de sistema com palafitas e plataforma flutuante é eficaz, pois resolve o problema das cheias habituais e das cotas limites nas chamadas “super cheias”. Além de manter e estabelecer novas relações de forma criativa com a vizinhança e com o terreno, onde configuram as unidades de vizinhança, um agrupamento de 3 casas que se conecta com os demais através das passarelas, e os usuários, principalmente as crianças, poderão desfrutar de forma lúdica.

O projeto imprime uma linguagem que traz elementos da casa tradicional com o viés contemporâneo da sustentabilidade ambiental. O sistema construtivo contempla soluções criativas como o trilho guia para flutuação e a base da plataforma onde são fixados os tambores plásticos. Agrega funções vitais para a comunidade em estudo, cria dinâmicas num híbrido de espaços privados e coletivos. Resulta num produto final criativo e inovador resolvendo uma problemática estabelecida.

## AGRADECIMENTOS

Aos moradores da Ilha Mauá pelo apoio e disponibilidade em contribuir para a elaboração das diretrizes que nortearam o projeto, através do diálogo. Também à administração da sede APA (Área de Proteção

Ambiental) em auxiliar com dados importantes sobre as inundações e dados históricos das Ilhas.

Aos amigos e familiares que deram suporte e incentivo necessários para a pesquisa e desenvolvimento deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

ALVES, H. P. F.; TORRES, H. G. Vulnerabilidade Socioambiental na cidade de São Paulo: uma análise de famílias e domicílios em situação de pobreza e risco ambiental. **São Paulo em Perspectiva**. São Paulo: Fundação Seade, v.20, n.1, p. 44-60, jan/mar 2006. Disponível em: <<http://produtos.seade.gov.br>>; <<http://www.scielo.br>>.

ARCHITECTURE FOR HUMANITY (editor). **Design like you give a damn 2: Building change from the ground up**. 2 ed. New York: Abrams, 2012.

BARAKAT, S. **Housing Reconstruction after Conflict and Disaster**. Humanitarian Practice Network, dezembro, 2003, n. 43. Disponível em: <<https://www.files.ethz.ch/isn/95619/networkpaper043.pdf>> Acesso em: 10 março 2019.

BECK, U. **Sociedade de risco**. 1 ed. São Paulo: Editora 34, 2010.

BELL, B.; WAKEFORD, K. **Expanding architecture: Design as activism**. New York: Metropolis Books, 2008.

BONDUKI, N. **Origens da habitação social no Brasil**. 7 ed. São Paulo: Estação Liberdade, 2017.

COBRADE. **Classificação e codificação brasileira de desastres, 2012**. Disponível em: < [http://www.integracao.gov.br/c/document\\_library/get\\_file?uuid=2a09db34-e59a-4138-b568-e1f00df81ead&groupId=185960](http://www.integracao.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=2a09db34-e59a-4138-b568-e1f00df81ead&groupId=185960)>. Acesso em: 18 março 2019.

DOMBROWSKY, W. R. Again and again: is a disaster we call a "disaster"? E. L. Quarantelli. (ed) **What is a disaster?** Perspectives on the question. Routledge: London and New York. 1998.

LAVELL, A. Ciencias Sociales y Desastres Naturales en América Latina: un encuentro inconcluso. In: MASKREY, Andrew (org.). **Los Desastres no son Naturales**. Panamá: Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, 1993.

MARICATO, E. **Brasil, cidades: alternativas para a crise urbana**. Petrópolis: Vozes, 2001.

ROGERS, R. **Cidades para um pequeno planeta**. Barcelona: Gustavo Gili, 2001.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Centro Universitário de Pesquisas e Estudos sobre Desastres. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: 1991 a 2012**. 2. ed. Florianópolis: UFSC /CEPED, 2013. Brasil.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Centro Universitário de Pesquisas e Estudos sobre Desastres. **Relatório de Danos Materiais e Prejuízos Decorrentes de Desastres Naturais no Brasil: 1995 a 2014**. Florianópolis: UFSC /CEPED, 2016. Brasil.

## AUTORES

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8768-7471>

**TAMARA OLIVO GOULARTE** | Universidade do Vale do Rio dos Sinos | Arquitetura e Urbanismo | Florianópolis, SANTA CATARINA(SC) - Brasil | Correspondência para: R. Sebastião L. da Silva, 152, apto 2505 – Córrego Grande, Florianópolis – SC, 88037-400 | E-mail: [tamaraolivogoularte@gmail.com](mailto:tamaraolivogoularte@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8977-4499>

**VERA LUCIA DUTRA MASCARELLO** | Universidade do Vale do Rio dos Sinos | Arquitetura e Urbanismo | Porto Alegre, RIO GRANDE DO SUL(RS) - Brasil | Correspondência para: R. Garibaldi, 1114, apto 32 – Bom Fim, Porto Alegre – RS, 90035-052 | E-mail: [veralumasca@gmail.com](mailto:veralumasca@gmail.com)

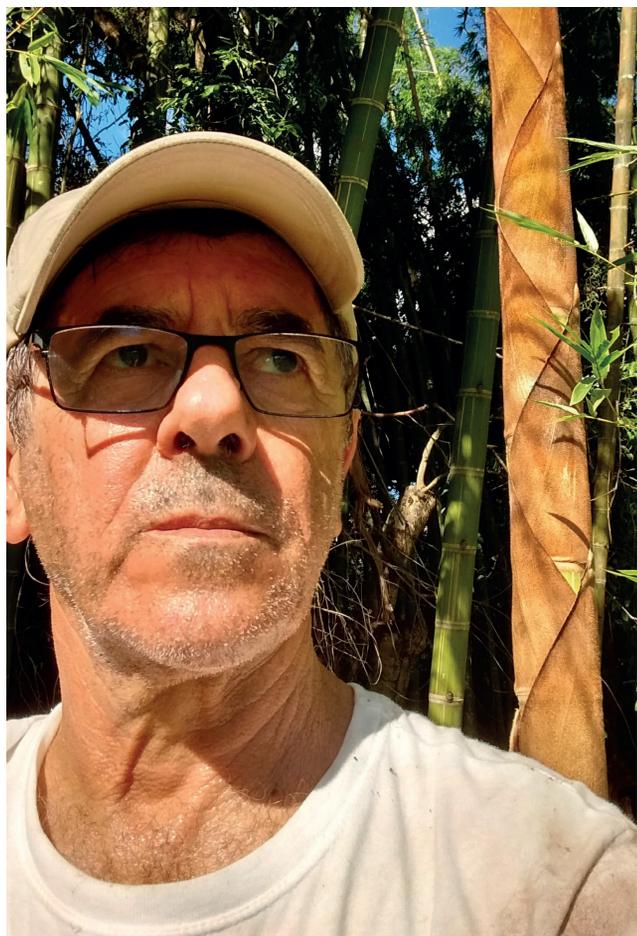
## COMO CITAR ESTE ARTIGO

GOULARTE, Tamara Olivo; MASCARELLO, Vera Lucia Dutra. Moradia resistente às inundações para a Ilha de Mauá. **MIX Sustentável, [S.l.], v. 5, n. 1, p. 125-132, mar-jun. 2019.** ISSN 24473073. Disponível em:<<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: dia mês. ano. doi:<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2019.v5.n1.125-132>.

**DATA DE ENVIO:** 31/01/2019

**DATA DE ACEITE:** 20/03/2019

## ENTREVISTA COM: ANTONIO LUDOVICO BERALDO



*Poderia resumir sua formação e descobertas relevantes em sua trajetória que lhe conduziram às pesquisas com bambu? Que caminhos percorreu até chegar aos trabalhos da Norma Brasileira de Estruturas de Bambu?*

"Em 1974, licenci-me em Matemática pela USP-SP; nesse mesmo ano, ingressei em Faculdade de Engenharia Mecânica (FEM) na Unicamp cursando, nesse período, simultaneamente os dois cursos. Em 1975, iniciei de fato o curso na FEM - Unicamp, porém, ao final do ano, participei do remanejamento interno par o recém criado curso de Engenharia Agrícola. A partir de 1976, iniciei essa nova carreira na Unicamp, em um dos cursos pioneiros em nosso país. Em 1978, fui aprovado em concurso público para o Magistério, dividindo minhas atividades como professor em

escola pública e também como aluno na Unicamp. Em 1980, a partir de agosto, iniciei minhas atividades docentes na Faculdade de Engenharia Agrícola (Feagri), onde permaneci até 2012, tendo atingido o nível de Professor Titular. Na Feagri, ministrei diversas vezes a disciplina 'Materiais de Construção' buscando inserir também na ementa da disciplina o estudo de materiais não convencionais, tais como o bambu e resíduos agrícolas. Em 1985, realizei os primeiros experimentos investigando o reforço do concreto com taliscas (lascas ou ripas) de bambu – até hoje ainda existe em minha residência uma laje de concreto armada com bambu. Posteriormente, em 1990, orientei uma construção alternativa de um pequeno escritório no qual as paredes eram feitas de placas pré-moldadas de blocos cerâmicos vazados, reforçadas com vara-de-pescar. Essa aplicação foi objeto de uma reportagem na revista Globo Rural (1990); o escritório ainda se encontra em perfeitas condições. De 1990 a 1994, realizei o Doutorado em Ciências da Madeira, na Universidade da Lorena, Nancy, França. O tema escolhido tratou de compostos de biomassa vegetal e cimento Portland – uma das biomassas pesquisadas foi o bambu *Phyllostachys viridis*, proveniente da região mediterrânea da França. Ao retornar ao Brasil, iniciei uma série de experimentos buscando caracterizar várias biomassas, conforme nova reportagem apresentada na revista Globo Rural (1996) – 'Concreto de fibra'. A partir dos resultados obtidos, solicitei uma patente sobre o assunto, assim como registrei a marca 'Biokreto' e 'CBVC'. Várias instalações foram feitas na área da Feagri e várias delas ainda se encontram em boas condições. Também cumpre destacar as várias orientações sobre temas ligados à biomassa na construção (bambu, pinus, eucalipto, casca de arroz, casca de ovo etc.). Além de matrizes inorgânicas (cimento e gesso) também investiguei a composição da biomassa com polímeros, tendo orientado alunos nos temas de bambu laminado colado (BaLC) e chapas de partículas com adesivo poliuretano à base de óleo de mamona. Embora não tenha formação na área de estruturas, procurei interessar-me pela elaboração de norma específica para estruturas de bambu,

já vigentes em países latino-americanos (Colômbia, Equador e Peru) e nos EUA (Norma ISO). Entendo que a elaboração da norma é crucial para que o bambu possa vir a ser plenamente aceito pelos engenheiros e arquitetos. Tratou-se de um longo e minucioso estudo, contando com a colaboração de vários especialistas de universidades e do setor produtivo. Em breve, a norma será disponibilizada para que seja comentada pela sociedade, para serem efetuados os ajustes que se mostrarem necessários."



#### *O que é Apuama?*

"Essa palavra tupi significa 'algo em constante movimento' e visa à disseminação de informações sobre bambu, madeiras e Biomateriais. Nele tanto são disponibilizadas informações pessoais (reportagens, publicações, eventos etc.) como matérias de terceiros e que sejam interessantes para esses tópicos. Nessa terceira versão, o número de acessos se aproxima de 60.000; creio que se pudesse juntar as versões mais antigas, seriam alcançados mais de 100 mil acessos. A maioria das pessoas se interessa pelo tema 'durabilidade do bambu', evidenciando que esse ainda é o principal gargalo que limita a aplicação do bambu nas construções."

#### *Quais pesquisas sobre bioconstrução poderia evidenciar?*

"Creio que aquelas mais promissoras visam à eliminação parcial de agregados minerais, cuja extração é altamente danosa ao meio ambiente, por aqueles originários da biomassa, principalmente vegetal (pó de serra em geral ou cavacos de bambu). Embora a produção do cimento seja altamente impactante em termos ambientais, a

biomassa devidamente encapsulada pela matriz, permite estocar parte de CO<sub>2</sub> capturado pela planta. No momento, também estou participando de uma pesquisa testando uma nova matriz – o aglomerante álcali ativado - AAA (solução de soda cáustica, cinza de casca de arroz e metacaulim), com substituição parcial da areia por cavacos de bambu. A resistência à compressão axial tem sido surpreendente – 24 MPa em 1 dia!"

*Quais os usos potenciais para o bambu brasileiro? Como percebe a evolução da construção com bambu no Brasil? Quais as perspectivas de desenvolvimento da cadeia produtiva deste material no Brasil? Percebe algum entrave nestas perspectivas?*

"O bambu tem milhares de usos consagrados na literatura, indo desde a construção de pontes até instrumentos musicais. No Brasil, o principal entrave para a disseminação do bambu ainda é a ausência de plantações em larga escala, o que limita as aplicações industriais. Embora tenha sido promulgada em 2011 a Lei do Bambu, a mesma ainda não foi devidamente regulamentada, o que deixa inseguros os possíveis investidores. Louve-se a atuação de alguns parlamentares que tem buscado apoiar leis estaduais (GO, MG e SP) que considerem o bambu como uma matéria-prima agrícola."

*Como vê o papel das técnicas construtivas a partir de materiais alternativos, muitas delas ainda não normatizadas, na construção em grande escala ou nas edificações em altura?*

"Em nosso país já existem profissionais altamente gabaritados para se responsabilizarem por construções em grande porte utilizando o bambu. No entanto, ainda dois fatores tem sido limitantes para a execução dos projetos: a falta de fornecedores de material homogêneo em quantidade e em qualidade, e a dificuldade em realizar o tratamento preservativo para uma grande quantidade de colmos. No tocante aos aspectos relacionados à construção em si, principalmente ao que se refere às ligações, espera-se que, com a aprovação da Norma, os profissionais se sintam seguros para alçarem voos cada vez mais altos."

*Como imagina um edifício e uma cidade sustentável?*

"Penso que deve-se partir do micro para alcançar o macro. Não entendo que uma cidade possa vir a ser sustentável, se o edifício (ou a moradia, por exemplo) não o forem – 'pense global, aja local' – esse é o lema."

À medida do possível, dever-se-ia pensar nessa estratégia na sua própria moradia, utilizando materiais reciclados, coletando água da chuva, dispondo de coletores solares, ventilação cruzada, pisos drenantes, pequenas hortas etc.

*Poderia falar sobre a farinha de bambu? Seus usos e perspectivas para essa descoberta?*

"Digamos que se tratou no 'case' de maior sucesso em minha longa carreira como pesquisador. Em cerca de 20 dias, deu mais destaque na mídia do que os meus 35 anos estudando o bambu. Várias emissoras (EPTV, Record, Band, Globo – G1 e Programa Bem Estar e TV Cultura – Programa Repórter Eco) divulgaram as maravilhas da farinha do bambu. Trata-se de uma importante parceria desenvolvida com a Faculdade de Engenharia de Alimentos da Unicamp, com a Profa Dra Maria Teresa Pedrosa. Atualmente envolve vários alunos, tendo resultado em 5 publicações internacionais, 4 prêmios (2 internacionais), um mestrado e um doutorado, além de uma possível parceria com uma empresa. De uma forma geral, o bambu é utilizado quando recém emergiu do solo (broto) ou quando está maduro (3-5 anos), destinado para a construção e movelaria. No entanto, em uma fase intermediária ("colmo jovem" – de 1 a 2 anos), não se insere em nenhuma das duas citadas aplicações – é muito duro para ser utilizado como broto e pouco resistente para uso estrutural. Ao ser moído adequadamente, no material particulado ocorrem as células parenquimáticas, nas quais se abriga o amido e fibras ainda não tão duras que podem ser consumidas após a devida redução de tamanho por moagem adequada. Essa 'farinha de bambu' prestou-se a uma série de experimentações, resultando na produção de 'cookies' e de 'fettuccines', não sendo diferenciados pelos provadores das massas tradicionais. Vislumbra-se, portanto, um imenso campo de aplicação para o bambu, como componente alimentício, com capacidade de aumentar a saciedade, pois o amido está encapsulado nas células parenquimáticas e as suas fibras são de difícil dissolução. Pode se tratar de um alimento ideal para diabéticos e obesos, conforme se pretende investigar. E sem falar então da 'BambooBeer' – fermentação do amido e das fibras, talvez adicionado das próprias folhas de algumas espécies de bambus para produzir um aroma/sabor específico – tema de um doutorado em andamento."

*Como os profissionais da construção (pesquisadores, projetistas e empreendedores) podem transpor a distância entre o que planejam em termos de sustentabilidade e o que efetivamente conseguem implementar?*

"É um longo caminho ainda a ser trilhado. Engenheiros e arquitetos recebem uma formação convencional fortemente apoiada na avaliação de materiais convencionais (cimento, concreto, aço etc.). Na maioria das faculdades nem a madeira recebe a devida atenção, pois são raras as instituições nas quais essa importante matéria-prima seja sequer citada – a UFSC deve ser uma das poucas exceções. Dessas forma, propor aplicações para o bambu sofre uma rejeição inicial muito grande, cabendo então realizar-se um verdadeiro apostolado, buscando, por meio de palestras e cursos técnicos, divulgar as características e aplicações desse material ainda praticamente desconhecido no Brasil."



*Que mensagem poderia deixar para os profissionais da área, sobre a bioconstrução e o emprego do bambu?*

"Sejam como os bambus: ou agrupados, uns protegendo os outros por meio de associações (Rede Brasileira do Bambu – RBB; Associação dos Produtores de Bambu – APROBAMBU; Associação Brasileira do Bambu – BambuBr), ou então sejam como os bambus alastrantes, procurando disseminar os conhecimentos por meio de palestras, cursos, buscando o surgimento de novos brotos!"



# DESIGN FOR BIOMIMICRY (DFB) – MODELO DE PROJETO ORIENTADO À BIOMIMÉTICA PARA SUPORTE AO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS SUSTENTÁVEIS

ROBERTA FERRARI DE SÁ, MSc. | PUCPR  
OSIRIS CANGILIERI JUNIOR, PhD. | PUCPR

## 1. RESUMO

Nas últimas décadas vem ocorrendo alterações significativas de comportamento nas empresas em relação aos seus modelos de negócios, devido às pressões crescentes do governo, dos órgãos reguladores e da sociedade, que incentivam novas práticas alinhadas com princípios de sustentabilidade ambiental. Com isso, a procura por novas abordagens para a incorporação de conceitos sustentáveis nas tomadas de decisões vem crescendo consideravelmente. Neste contexto, o design bioinspirado pode ser considerado como uma alternativa de abordagem para encorajar inovações durante o processo de desenvolvimento de projetos sustentáveis, movimento que cresce impulsionado também pelo reconhecimento da natureza como fonte de inovação. Desta forma, este estudo propõem um modelo de Projeto Orientado à Biomimética, como uma nova prática para auxiliar na aplicação dos conceitos Biomiméticos ao Processo de Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis, buscando melhorar a qualidade do produto e minimizar os impactos negativos ao meio ambiente. Para isso, será realizada inicialmente uma pesquisa bibliográfica para o seu embasamento teórico e para confirmar as oportunidades de inovação, em três áreas principais: Biomimética como suporte ao Processo de Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis, Organização Internacional de Normalização e Design para a Qualidade e Sustentabilidade. Portanto, com os conceitos e metodologias definidos, este trabalho de pesquisa busca aprofundar os estudos para que na sequência, seja realizado o desenvolvimento experimental do modelo por meio de abordagens e ferramentas técnicas para auxiliar a estruturar e caracterizar o modelo.

**Contribuições da pesquisa:** A contribuição deste trabalho para o meio científico, está na concepção de um Modelo de Projeto Orientado à Biomimética, que tem como

premissa, dar suporte ao Processo de Desenvolvimento de Produtos, integrando a Biomimética a tal processo para a concepção de produtos sustentáveis. A metodologia a ser desenvolvida, irá orientar as tomadas de decisão durante o processo de desenvolvimento do produto sob os preceitos da Biomimética, buscando alcançar uma maior qualidade para o produto, além de contribuir para minimizar os impactos que este possa causar ao meio ambiente. Pois o ambiente natural tem grande potencial inovador por meio da bioinspiração, quando utilizada durante o desenvolvimento de projetos, transferindo a estes, excelentes níveis de desempenho por basear-se em sistemas biológicos altamente eficazes. Além disso, inspirar-se em conhecimento biológico, acarreta maiores possibilidades de alcançar resultados sustentáveis.

A concepção de um Modelo de Projeto Orientado à Biomimética, surgiu da necessidade de uma metodologia capaz de auxiliar na aplicação da bioinspiração ao Processo de Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis. Pois os métodos e modelos existentes na literatura, não se mostraram significativos para organizar todo o processo necessário para um Projeto Orientado à Biomimética, sendo esta, uma oportunidade de inovação dentro do tema.

Desta forma, este trabalho de pesquisa busca aprofundar o estudo para ratificar tais oportunidades identificadas por Ferrari de Sá (2017), durante a concepção do Método BIOS, além de reunir material científico suficiente para o embasamento e estruturação do Modelo de Projeto Orientado à Biomimética. Para isso, a hipótese levantada, deverá ser investigada para a verificação da sua veracidade, a qual supõe a possibilidade de aprofundamento das pesquisas do universo da Biomimética e do Processo de Desenvolvimento de Produtos, visando desenvolver uma abordagem conceitual de Projeto Orientado à Biomimética, para a melhoria da qualidade de produtos quanto a sua eficiência, economia e sustentabilidade.

Porém os resultados de tal verificação só poderão ser conhecidos, ao final do desenvolvimento deste estudo, após a concepção, aplicação e avaliação do Modelo Conceitual Preliminar.



**Figura 01** – Fases de desenvolvimento do Modelo Conceitual Preliminar  
**Fonte:** A autora.

# OPEN DESIGN NA PROMOÇÃO DE ECONOMIAS DISTRIBUÍDAS: HEURÍSTICAS PARA O DESENVOLVIMENTO DE VESTUÁRIO

IANA ULIANA PEREZ, MSc. | UNESP  
AGUINALDO DOS SANTOS, Dr. | UFPR

## 1. INTRODUÇÃO

Abordar a sustentabilidade no Setor de Vestuário requer questionar o atual modelo de produção e consumo. Uma alternativa é a promoção de um sistema de economias distribuídas, no qual se insere a abordagem do *open design*, que pode ser também associada às tecnologias de fabricação digital. Embora alguns autores evidenciem as relações entre o Setor de Vestuário e o *open design*, existe uma lacuna de publicações científicas na área, havendo a necessidade de desenvolver e exemplificar procedimentos para aplicação do *open design*. São igualmente escassas as referências bibliográficas que tratam da relação entre vestuário e fabricação digital. Nesse contexto, a pesquisa aqui relatada tem como objetivo identificar e sistematizar heurísticas para aplicação dos princípios do *open design* ao desenvolvimento de vestuário mais sustentável, com utilização predominante de tecnologias de fabricação digital.

## 2. MÉTODO

Devido ao caráter prescritivo da pesquisa realizada, o método de pesquisa adotado foi a *Action Design Research* (ADR), cuja condução é dividida em quatro etapas: 1) Problematização, 2) Desenvolvimento, 3) Avaliação e 4) Formalização da Aprendizagem. Na primeira etapa, por meio de revisão bibliográfica e pesquisa documental, foram identificadas heurísticas associadas a artefatos já existentes, as quais foram generalizadas para classes de problemas configuradas a partir da revisão bibliográfica. A segunda e a terceira etapas foram conduzidas de maneira iterativa, com no mínimo dois ciclos de desenvolvimento de artefatos e avaliação, os quais permitiram a consolidação das heurísticas inicialmente identificadas e a verificação de novas heurísticas. O primeiro ciclo envolveu a participação de estudantes de graduação em Design de Produto da Universidade Federal do Paraná e a empresa holandesa *The Post-Couture Collective*. No segundo ciclo,

por sua vez, estabeleceu-se parceria com uma empresa curitibana, o NovoLouvre, com a qual foi promovido um projeto de cocriação com chamada aberta. Ambos os ciclos envolveram o uso de tecnologias como corte a laser e/ou estamperia digital.

## 3. RESULTADOS

Ao final da quarta etapa, quando foi realizado cruzamento dos ciclos de relevância conduzidos, foram sistematizadas oito heurísticas associadas ao desenvolvimento de vestuário, as quais foram generalizadas para três classes de problemas:

- *incentivo à personalização* – possibilidades de personalização inseridas no próprio produto; produtos modulares; produtos ajustáveis ou adaptáveis; produtos multifuncionais;
- *facilidade de montagem* – aplicação de instruções de montagem na própria roupa; produtos sem costura (à máquina); heurísticas associadas à elaboração dos manuais;
- *sustentabilidade* – modelagem que reduza o desperdício; combinação entre artesanal e digital.

Essas heurísticas podem ser utilizadas como referência durante o processo de desenvolvimento de artefatos destinados à fabricação pessoal, permitindo que designers e pesquisadores explorem o *open design* e as tecnologias de fabricação digital no Setor de Vestuário.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.



# PROCESSO [MAIS]: MÚLTIPLAS APRENDIZAGENS PARA A INOVAÇÃO DE SIGNIFICADO

DEBORA BARAUN, Dra. | UFPR  
DALTON LUIZ RAZERZA, Dr. | UFPR

## 1. INTRODUÇÃO

Na sociedade contemporânea pós-industrial, a urgência é por novas formas de projetar as coisas, trata-se do desenho de um novo mundo material. Esse é um conceito que se refere à natureza e suscita uma interdependência entre as atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) em materiais, tecnologias e produtos, o design de materiais.

Neste contexto, a inovação de significado é um tipo de inovação radical, guiada pelo design, que busca fazer sentido às coisas e, com isso, oportuniza a disrupção (NORMAN E VERGANTI, 2014). Porém, a inovação de significado exige múltiplas capacidades dos indivíduos e demanda das áreas técnicas e científicas a formação de uma nova cultura humana transdisciplinar para a integralidade e simultaneidade das ações necessárias.

Sendo assim, o objetivo deste estudo foi construir um processo de múltiplas aprendizagens para a inovação de significado, promovendo o desenvolvimento de pessoas e projetos de PD&I para o desenho de um novo mundo material.

## 2. MÉTODO

Na construção deste processo foi aplicado o método "*design science research*", que considera a utilidade do objeto construído no mundo real. Desta forma, dois *workshops* foram realizados para duas realidades brasileiras de ciência e tecnologia, a fim de avaliar o desempenho do processo. Essas realidades foram: o *Integrated Technologies Laboratory (Intelab)* da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) contando com a parceira da empresa BioCellTis e o Grupo de Pesquisa em Materiais Poliméricos da Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE) com o apoio do Parque de Inovação Tecnológica de Joinville e Região (Inovapark).

Antes disso, diversos procedimentos técnicos foram empregados para a conscientização e concepção da proposta, tais como: pesquisa bibliográfica e documental; mapeamento; quadros contextuais/conceituais e prototipagem da ideia até a proposição da modelagem e do design final do processo.

## 3. RESULTADOS

Os resultados do estudo partiram do uso abduutivo de sete conceitos emergentes da sociedade pós-industrial e seus fundamentos (inovação social; inteligência coletiva; economia do conhecimento; era do design; era da informação; economia criativa e era da complexidade).

Esses conceitos foram relacionados a competências requeridas (colaboração; interação; aprendizagem; inovação guiada pelo design; linguagem de comunicação; criatividade e visão holística) que resultaram em princípios de funcionamento para o processo.

Tais princípios foram combinados a bases teóricas de conhecimento do design, da gestão do conhecimento e da aprendizagem humana, o que permitiu criar uma concepção múltipla de aprendizagem e uma estrutura para o processo.

A aplicação de um piloto forneceu as primeiras orientações de melhorias para o design do processo, depois, com o desenvolvimento em si dos *workshops* em contextos reais, novos refinamentos foram realizados.

Na realização dos *workshops*, o desempenho do processo foi considerado bom a excelente entre os dois grupos participantes, obtendo média 4,8 em um escala de 1 a 5 pontos. Esses grupos também relataram o processo como um meio de estímulo à colaboração e criatividade, uma prática de autoconhecimento e um promotor da mudança de cultura para a transdisciplinaridade. O processo também permitiu, no ponto de vista dos participantes, clarificar as atividades de PD&I. Enfim, durante os *workshops* foi evidenciado a falta de conhecimento dos grupos quanto aos conteúdos da prática de inovação de significado, validando a proposta do estudo como um processo de aprendizagem.

Sobretudo, com a conclusão do estudo, foi desenvolvido um *framework* sobre a modelagem e o design do processo, sendo esse denominado de [maIS], a fim de orientar futuras aplicações da prática na sociedade.

## REFERÊNCIAS

NORMAN, D. A.; VERGANTI, R.. Incremental and radical innovation: Design research vs. technology and meaning change. *Design issues*, v. 30, n. 1, p. 78-96, 2014.



# O CAMINHO DO VENTO: A PERCEÇÃO DA VENTILAÇÃO NATURAL EM AMBIENTES DE INTERNAÇÃO

KÁTIA MARIA MACEDO SABINO FUGAZZA | UFRJ  
 MAURO CÉSAR DE OLIVEIRA SANTOS, Dr. | UFRJ

## 1. INTRODUÇÃO

A percepção do conforto ambiental é individual e única, sendo esta, o modo do ser humano compreender seu entorno. Estudos sobre esse tema comprovam que a ventilação natural, a possibilidade de controle do ambiente, a presença de distrações positivas, a iluminação natural, dentre outros, podem auxiliar o tratamento médico antecipando a alta dos pacientes (DILANI, 2005; ULRICH et al., 2004). Desta forma, podem ser minimizados os impactos causados pelo afastamento dos pacientes de suas casas ou pela jornada de trabalho dos profissionais de saúde.

No que concerne à arquitetura hospitalar observa-se importantes mudanças correlacionadas aos trabalhos e contribuições de Tenon (...) e Nightingale. Tenon, publicou o *Mémoires sur les Hôpitaux* a Paris, defendendo novas propostas para a arquitetura de Hospitais, como volume de ar mínimo e apresentando o modelo do hospital pavilhonar (TENON, 1788) e entre 1820 e 1910, a enfermeira Florence Nightingale desenvolve a proposta de enfermaria que leva seu nome, enfatizando a disposição em leitos separados, janela para cada leito e ventilação cruzada (NIGHTINGALE, 1859). Os avanços da engenharia e da medicina propiciaram o surgimento do hospital monobloco e com isso, questões de conforto higrotérmico foram tratadas com a ventilação mecânica. O hospital reduziu-se à uma edificação que abrigava as máquinas de cura (VERDERBER E FINE, 2000).

A pesquisa apresenta como objeto de estudo a percepção do usuário quanto à ventilação natural, focado nos ambientes de internação nos hospitais e encontra sua justificativa na potencialidade da ventilação natural como forma de promoção do conforto na edificação, contribuindo para o bem estar e a saúde dos usuários, com ênfase nos pacientes. Dada a existência de um amplo consenso acerca da potencialidade da ventilação natural em ambientes terapêuticos, cabe compreender os fatores que influenciam a sua (não) adoção. Para cumprir com o objetivo do estudo, propõe-se o desenvolvimento de estudo de caso em 02 (dois) hospitais: Hospital Universitário Gafrée e Guinle e Hospital Municipal Lourenço Jorge, representativos de três

contextos arquitetônicos e sanitários distintos. O primeiro passo será a pesquisa de revisão bibliográfica integrativa, visando conhecer o estado da arte do uso da ventilação natural nos hospitais. Os Hospitais de estudo e suas soluções de ventilação serão analisados a partir do levantamento histórico, físico- arquitetônico, registro fotográfico de suas instalações e medições com instrumentos de precisão. O estudo envolve, também; pesquisa qualitativa baseada na observação participante, caderno de campo, entrevistas com os usuários internados, acompanhantes e profissionais de saúde e arquitetos. A análise será realizada por meio do método de análise de conteúdo de Bardin (2009).

## REFERENCIAS

BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. Lisboa, Portugal; Edições 70, LDA, 2009.

DILANI, A. (2005). **A New Paradigm of Design and Health in Hospital Planning**. *World Hospitals and Health Services: The Official Journal of The International Hospital Federation*. 41. 17-21.

NIGHTINGALE, F. **Notes on nursing**. Dover, New York, 1969 – Edição Digital. Acesso em: 06/07/2018.

TENON, J. R. **Memoires sur les Hôpitaux de Paris**. Paris: de L'imprimerie de Ph-D Pierres, Premier Imprimeur Ordinaire du Roi, & c, 1788.

ULRICH, R. et al. **The Role of the Physical Environment in the Hospital of the 21 st Century: A Once-in-a-Lifetime Opportunity**. Relatório para The Center of Health Design. Concord, 2004. Disponível em: [https://www.healthdesign.org/system/files/Ulrich\\_Role%20of%20Physical\\_2004.pdf](https://www.healthdesign.org/system/files/Ulrich_Role%20of%20Physical_2004.pdf). Acesso em: 14/08/2018.

VERDERBER, S. e FINE, D. **Healthcare Architecture in a Era of Radical Transformation**. New Haven and London Yale University Press, 2000.



# ISOLANTE TÉRMICO À BASE DE SABUGO DE MILHO

FÁBIO SEVERO DA ROSA, MSc. | UFSM

GIANE GRIGOLETTI, Dr. | UFRGS

ROGÉRIO DE LIMA, Dr. | UFRFS

## 1. INTRODUÇÃO

No âmbito de uma Dissertação de Mestrado, foi desenvolvido um compósito à base de sabugo de milho e resina comercial com finalidade de isolante térmico. Isolantes térmicos são importantes elementos na composição dos fechamentos opacos da edificação, uma vez que proporcionam redução nas trocas térmicas com o meio exterior. O desenvolvimento de isolantes à base de rejeitos contribui para a sustentabilidade do setor da construção civil. Além disso, os isolantes comerciais, com alta industrialização, têm impactos associados à sua extração e ao seu descarte final, além de danos à saúde, como é o caso da lã de rocha e lã de vidro (US DOI, 2019). Paralelamente, o uso de resíduos oriundos de outros setores da economia como materiais de construção contribui para a sustentabilidade ambiental (CUNHA, 2012).

Este resumo apresenta os resultados de avaliação de um compósito à base de sabugo de milho e resina oriunda do óleo de mamona para fins de isolamento térmico. Foi medida a condutividade térmica, conforme a ASTM C-518 e ISO 8301 (ASTM, 2017; ISO, 1991). Também foram medidas a densidade de massa aparente de acordo com a NBR 11356 (ABNT, 2016) e resistência mecânica à flexão, de acordo com a NBR 13279 (ABNT, 2005).

## 2. RESULTADOS

Foram elaborados três compósitos com diferentes granulometrias, denominados A (26,25% moído grosso + 26,25% moído fino + 47,50% de resina), B (26,25% moído fino + 13,10% moído grosso + 13,10% moído médio + 47,50% de resina) e C (26,25% moído fino + 26,25% moído médio + 47,50% de resina). A tabela 1 ilustra os resultados encontrados para a condutividade térmica e a densidade de massa aparente.

Tipos	Condutividade térmica (l) (W/(m.K))	Densidade de massa aparente ( $\rho$ ) (g/cm <sup>3</sup> )
A	0,114a $\pm$ 0,05	0,369a $\pm$ 0,01
B	0,113a $\pm$ 0,02	0,362a $\pm$ 0,03
C	0,107a $\pm$ 0,02	0,334a $\pm$ 0,03

**Tabela 1** – Condutividade térmica e densidade de massa aparente para os três tipos de compósitos.  
**Fonte:** Autores

Observa-se que os três compósitos podem ser usados como isolantes térmicos (condutividade térmica inferior a 0,21 W/(m.K). Em relação à densidade, comparando os resultados encontrados com outros materiais isolantes, tais como madeira (0,620 g/cm<sup>3</sup>), asbesto (0,480 g/cm<sup>3</sup>), gesso (0,800 g/cm<sup>3</sup>) e compensado (0,615 g/cm<sup>3</sup>), observa-se que apresentam densidade menor. Quanto à resistência mecânica, o valor mais baixo foi encontrado para o compósito C (2,0 MPa), valor superior a blocos de gesso compactos, que alcançam 1,5 Mpa com 100mm, comprovando que podem ser usados como aplicação a outros materiais, desde que não sejam submetidos a esforços de flexão maiores.

Os parâmetros térmicos e físicos analisados mostram que os compósitos à base de sabugo de milho podem ser usados como isolantes térmicos, pois possuem valores compatíveis com os isolantes térmicos convencionais.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 11356**: Isolantes térmicos à base de fibras minerais — painéis, mantas e feltros — determinação das dimensões e da massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- \_\_\_\_\_. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASTM. American Society for Testing and Materials. **ASTM C518**: Standard test method for steady state thermal transmission properties by means of the heat flow apparatus. 2017.

Cunha, P. W. S. **Estudo sobre as potencialidades de compósitos a base de gesso e fibra de coco seco para a aplicação na construção civil**. 2012. 120f, Tese (Doutorado em Engenharia dos Materiais) UFRGN, Natal, 2012.

ISO. International Standardization Organization. **ISO 8301**: Thermal insulation: determination of steady-state thermal resistance and related properties. Switzerland. 1991.

US DOI. U.S. Department of the Interior. **Environmental Considerations of Building Insulation**. Washington, DC. Disponível em: [https:// www.doi.gov/sites/doi.gov/files/migrated/greening/buildings/upload/iEnvironmental-Considerations-of-Building-Insulation-National-Park-Service-insulation .pdf](https://www.doi.gov/sites/doi.gov/files/migrated/greening/buildings/upload/iEnvironmental-Considerations-of-Building-Insulation-National-Park-Service-insulation.pdf). Acesso em: 07 mar. 2019.

# APLICAÇÃO DE CONCEITOS DE SUSTENTABILIDADE NO DESENVOLVIMENTO DE PROJETO DE COMPONENTES ESTRUTURAIS PRÉ-FABRICADOS COM EMPREGO DE MATERIAIS DE BASE FLORESTAL

JOÃO MARCELO DANZA GANDINI, MSc. | USP  
JAVIER MAZARIEGOS PABLOS, Dr. | USP

## 1. RESUMO

O presente trabalho visa contribuir para o desenvolvimento sustentável de produtos elaborados com materiais de base florestal e de fontes renováveis, no projeto, na produção e na montagem de componentes pré-fabricados de madeira e seus produtos derivados aplicáveis à arquitetura e construção civil. Isso se deve ao fato da atual necessidade de utilização de materiais e produtos de forma mais coerente através de tecnologias ecologicamente adaptadas para o uso de fontes energéticas renováveis, assegurando um desenvolvimento econômico socialmente responsável, com a finalidade de promover uma maior sustentabilidade no uso dos recursos naturais, principalmente no que diz respeito à construção de edificações. A base conceitual está delimitada por três aspectos fundamentais. O primeiro faz referência à problemática atual que envolve o desenvolvimento de produtos e arquitetura sustentável, considerando uma crescente preocupação quanto à possibilidade de limitação de recursos naturais disponíveis para a produção de bens materiais e os efeitos das mudanças climáticas decorrentes da degradação do meio ambiente diretamente ligada às atividades humanas. O segundo aspecto trata da importância do emprego de materiais locais de fontes renováveis na produção de produtos “mais” sustentáveis. Neste sentido, aborda as características e as possibilidades do emprego da madeira de floresta plantada e materiais derivados da madeira, com o objetivo de incentivar a produção local sustentável. Também são abordados neste item, os conceitos de pré-fabricação e coordenação modular; racionalização em projeto visando a minimização do desperdício e conseqüentemente a geração de resíduos. Por fim, é abordada a pré-fabricação de componentes em madeira com caráter sustentável no projeto de interfaces entre componentes estruturais em madeira destinados à construção de edificações.

## 2. OBJETIVOS

A pesquisa tem como objetivo geral o desenvolvimento de projeto executivo de componentes estruturais de *Eucalyptus* e as interfaces entre pilar-fundação e pilar-viga e viga-viga. O intuito é contribuir para uma maior eficiência energética na construção de edificações, tanto na etapa de produção de componentes, quanto na etapa de construção e montagem com a aplicação de conceitos de sustentabilidade, visando uma arquitetura mais sustentável, estudando metodologias relacionadas à aplicação de conceitos de sustentabilidade na arquitetura e no projeto de componentes estruturais; analisando e caracterizando produtos de base florestal visando possíveis aplicações no projeto dos componentes estruturais; elaborando o projeto executivo de componentes estruturais que incorporem conceitos de sustentabilidade, no intuito de reduzir desperdícios e geração de resíduos nos processos de pré-fabricação e montagem e; desenvolvendo a modelagem virtual dos componentes estruturais analisados e suas interfaces.

## REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7190: Projetos de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107 p.
- AGOPYAN, V., JOHN, V. M. O desafio da sustentabilidade na construção civil. Série Sustentabilidade, v.5. José Goldemberg (Coord.). São Paulo: Blucher, 2011.
- BARATA, T. Q. F.; GANDINI, J. M. D. Projeto Arquitetônico e Estrutural em Madeira para Unidade Habitacional. In: CIMAD 11 – CONGRESSO IBERO-LATINOAMERICANO DA MADEIRA NA CONSTRUÇÃO, 1, 2011, Coimbra, Portugal. Anais...Coimbra: 2011



# PARQUE CULTURAL TXILIÁ: ANTEPROJETO PARA A CIDADE DE PALMEIRA DOS ÍNDIOS, ALAGOAS

BRUNA SIQUEIRA | UNIT  
SAMMEA RIBEIRO, MSc. | UFAL

## 1. INTRODUÇÃO

Palmeira dos Índios é uma cidade do interior de Alagoas com desenvolvimento regular e com uma população estimada em 74.208 mil habitantes (IBGE, 2017), cujo comércio e serviços dão suporte a boa parte dos municípios menores que o cerca, fazendo gerar um maior movimento na economia.

A cidade é conhecida por sua história, carrega consigo uma grande bagagem cultural de sensibilidade e união de povos que se enraizaram na região e atualmente continuam seguindo as tradições. Além da população indígena, é uma cidade de escritores ilustres, poetas, artistas e cantores, que por muitas vezes a tomaram como inspiração para suas obras, como Graciliano Ramos em seu livro “Caetés”.

O projeto tem o objetivo de reunir os moradores num ambiente tranquilo e em comunidade, fazendo uso de uma arquitetura contemporânea de traços finos e rústicos e buscando transmitir experiências sensoriais e um contato real e puro com a natureza. Além de recuperar o terreno escolhido e incentivar o turismo sustentável.

## 2. SESSÃO DOIS

A proposta do anteprojeto conta com a recuperação do estado atual do terreno através de um anteprojeto de paisagismo que busque limpar visualmente a paisagem e reencenar bosques e pomares antes existentes. Além disso, construir edificações sustentáveis e eficientes, com baixo impacto ambiental. O usuário poderá usufruir de um espaço de permanência agradável e recreativo, potencializando assim o turismo e eventos culturais locais.

A tabela 01 apresenta os ambientes a serem inseridos no parque, sendo separados por tipo. Azul para o lazer, verde para serviços, vermelho para comércio e ocre para espaços verdes intocáveis.

Código	Nome	Área	Zona
PEX	Pavilhão de exposições	300 m <sup>2</sup>	Azul
ANF	Anfiteatro	1880 m <sup>2</sup>	Azul
FEI	Feirinha	720 m <sup>2</sup>	Vermelho
REST	Restaurante	420 m <sup>2</sup>	Vermelho
WC	Banheiros (Cada)	88 m <sup>2</sup>	Verde
ESP	Centro esportivo	25.400 m <sup>2</sup>	Azul
PRA	Praça Central	4.200 m <sup>2</sup>	Azul
AVER	Áreas verdes	-	Ocre
EST	Estacionamento	22.500 m <sup>2</sup>	Verde
ES	Estábulo	948 m <sup>2</sup>	Verde
AP	Açude de pescaria	3.200 m <sup>2</sup>	Azul
PI	Pier	1.400 m <sup>2</sup>	Azul
ADM	Administração	204 m <sup>2</sup>	Verde
ASER	Área de serviço	143 m <sup>2</sup>	Verde
MIR	Mirante	90 m <sup>2</sup>	Azul
PLAY	Playground infantil	1280 m <sup>2</sup>	Azul
GUA	Guaritas	12 m <sup>2</sup> (Cada)	Verde
ESTB	Bicicletário	136 m <sup>2</sup>	Azul

Tabela 01 – Programa de necessidades do Parque Cultural  
Fonte: Autora, 2018.

O anteprojeto do Parque Cultural Txiliá toma como estilo o contemporâneo. Pensando então não apenas em sua estética, foi adicionada à paisagem elementos naturais, como a madeira de demolição e o bambu, espécies de plantas rasteiras, trepadeiras e de grande porte. As edificações possuem grandes vãos abertos e pé direito alto, além de se elevarem do nível terreno para que o fluxo de ventos também passe por baixo, e, sendo assim, refresque a construção ao máximo.

Os blocos foram implantados, seguindo o estudo de ventilação e insolação no terreno durante o ano. Os passeios destinados somente aos pedestres foram separados das ciclovias e passagem de veículos automotores. O perímetro dos passeios possui uma média de 4,5 metros de largura e dá acesso a todos os blocos do parque, são arborizados, com bancos de descanso e áreas de permanência durante o percurso.

### 3. SESSÃO TRÊS

Como indivíduos, somos levados a viver em comunidade, seja numa vila, um bairro, uma cidade grande, as pessoas tendem a trocar experiências e viverem umas perto das outras. Mas nem sempre a vida conjunta é favorável, ou atende às necessidades da comunidade, a partir do momento em que a cidade se torna imprópria e insegura, as pessoas deixam de usar seus espaços públicos. As praças de nossas cidades estão se tornando desertas, as ruas ocupadas pelo tráfego automotivo e as calçadas, em sua maioria, não acessíveis para todos. O comércio e shoppings centers são alvo da vida urbana privada, pela sensação de segurança que estes passam.

Depois do estudo sobre as praças realizado em Palmeira dos Índios, Alagoas, foi percebido a falta de interesse da população em se socializar como antes através dos espaços públicos que a cidade oferece, ainda que a maioria destes esteja em mau estado. Palmeira dos Índios é rica em história e cultura, como já mencionado neste trabalho, portanto é de boa valia zelar pelo que é do povo, mas para isso é necessário também sua participação da vida em comunidade, fazendo com que viver a cidade seja uma prática divertida e prazerosa.

Seu potencial turístico foi o ponto de partida para a criação do anteprojeto do Parque Cultural Txiliá, já que em Palmeira dos Índios não existe nenhum parque urbano com os mesmos equipamentos ofertados pela proposta, um parque agradável, fechado, arborizado, cheio de espaços livres e diversas opções de lazer em família. Vale a pena resgatar essa vivência conjunta e ao mesmo tempo aproximar as pessoas de uma vida saudável na natureza.

### REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – **NBR 15220. Desempenho térmico de edificações.** Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – **NBR 9050. Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ALAGOAS EM DADOS E INFORMAÇÕES. **Mapas de caracterização.** Disponível em: <<http://dados.al.gov.br/dataset/mapas-de-caracterizacao-territorial>>. Acesso em 04 de junho de 2018 às 11:38.

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos:** conforto ambiental. Rio de Janeiro: Revan, 2003. 305 p.

GONÇALVES, Joana; DUARTE, Denise. **Arquitetura sustentável:** uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino. Disponível em: <<http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/viewFile/3720/2071>>. Acesso em 10 de junho de 2018 às 12:32.

TORRES, Luís B. **A terra de Tilixi e Txiliá** – Palmeira dos índios séculos XVIII e XIX. Maceió: IGASA, 1973.

# ESTUDO DA VIABILIDADE DO APROVEITAMENTO DAS ÁGUAS PLUVIAIS EM EDIFICAÇÃO UNIVERSITÁRIA

TAMILES JUST MANDELLI | UNESC  
FLÁVIA CAUDURO, MSc. | UFSC

**PALAVRAS-CHAVE:** Aproveitamento pluvial. Uso não potável. Viabilidade econômica.

## 1. RESUMO

O crescimento do consumo e das ocorrências da falta de água no planeta têm conscientizado a população para a busca do uso racional da água por meio de práticas sustentáveis. Um exemplo de prática sustentável é o uso das águas pluviais, captadas pelos telhados das edificações para serem aproveitadas em fins não potáveis. Este estudo de caso teve como objetivo estudar a viabilidade do aproveitamento das águas pluviais em uma edificação de ocupação de ensino universitário. O dimensionamento do sistema de captação e armazenamento foi realizado seguindo a NBR 10884/1989 e a NBR 15527/2007, ambas da ABNT. O estudo teve como base um bloco que compreende salas e um bloco com piscina coberta de uma universidade catarinense. Os dados de precipitação foram obtidos na estação pluviométrica de Içara, SC. A análise de viabilidade econômica permitiu concluir que para o bloco de salas é viável implantar o sistema de uso pluvial, pois atenderia 60,94% da demanda de água não potável, além de ter retorno do investimento em 39 meses. Para o bloco da piscina também apresentou viabilidade econômica positiva, pois atende 92,62% da demanda de água e o retorno do investimento em 59 meses.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15527: Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. NBR 10844: Instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro, 1989.

BACK, Álvaro José. Chuvas intensas e chuva para dimensionamento de estruturas de drenagem para o Estado de Santa Catarina: (com programa HidroChuSC para cálculos). Florianópolis: EPAGRI, 2013. 196p

BANCO CENTRAL DO BRASIL. Dados diários. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/htms/selic/selicdiarios.asp>>. Acesso em: 08 maio 2018.

CASAN. Tarifa comercial. Disponível em: <<https://www.casan.com.br/menu-conteudo/index/url/comercial>>. Acesso em: 08 maio 2018.

CAIXA. SINAPI. Disponível em: <<http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 08 maio 2018.

CELESC. Tarifas. Disponível em: <<http://www.celesc.com.br/portal/index.php/duvidas-mais-frequentes/1140-tarifa>>. Acesso em: 08 maio 2018.

FENDRICH, Roberto; OLIYNIK, Rogério. Manual de utilização das águas pluviais: 100 maneiras práticas. Curitiba: Livraria do Chain Editora, 2002. 190p.

FONTANELA, Leonardo. Avaliação de metodologias para dimensionamento de reservatórios para aproveitamento de água pluvial. 2010. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma. GONÇALVES, Ricardo Franci. Uso racional da água em edificações. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 352p.

LIMA, Jeferson Alberto de et al. Potencial da economia de água potável pelo uso de água pluvial: análise de 40 cidades da Amazônia. Eng Sanit Ambient, Cuiabá, v. 16, n. 65, p. 291–298, jul./set. 2011.

MACCARINI, Maria Gabriela Coral; CAUDURO, Flávia. Estudo da viabilidade de implantação de sistema

de reuso de águas cinzas para fins não potáveis em um edifício multifamiliar – estudo de caso. 2017. 24 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

MAGAGNIN, André Luiz. Impactos econômicos do uso de energia solar para aquecimento de água em residências unifamiliares. 2010. 78 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

NAÇÕES UNIDAS. Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos de 2015. 22 mar. 2015. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/ate-2030-planeta-pode-enfrentar-deficit-de-agua-de-ate-40-alerta-relatorio-da-onu/>>. Acesso em: 05 set. 2017.

RITO, Miguel. Consumo de água de uma piscina particular. Doutor piscina. 05 nov. 2013. Disponível em: <<https://doutor-piscina.piscinasimperial.pt/manutencao-piscinas/consumo-de-agua-de-uma-piscina-particular/>>. Acesso em: 07 maio 2018

SORDI, Mariah de. Análise de um sistema de aproveitamento de água pluvial no Centro de Integração Acadêmica da UEPB, Campina Grande, Paraíba. 2016. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande.

TOMAZ, Plínio. Aproveitamento de água de chuva. 2.ed. São Paulo, SP: Navegar, 2009. 180p.

# A IMPORTÂNCIA DA EFICIÊNCIA NO USO DA ÁGUA PARA A VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE EDIFÍCIOS COMERCIAIS NET ZERO ÁGUA

**LUITANARA MAMEDE DIAS, Esp.** | PUCPR

**GUIDO PETINELLI** | PETINELLI INC.

**JOÃO VITOR GALLO** | PETINELLI INC.

## 1. INTRODUÇÃO

A escassez de água é um problema que afeta todo o mundo. Estima-se que dois bilhões de pessoas não têm acesso ao abastecimento de água se considerado 20 litros por pessoa por dia até um quilômetro de distância. (ONU, 2018). Uma alternativa possível para a falta de água seria o seu reuso. (CETESB, 2016).

## 2. NET ZERO ÁGUA: UMA RESPOSTA AO PROBLEMA?

Uma das soluções para reduzir o impacto do aumento da população no meio ambiente, decorrente da elevação do consumo de água e da geração de esgoto, são os edifícios eficientes ou autossuficientes que atingem de maneira mínima o seu entorno ao utilizar de forma reduzida os recursos naturais, dentre eles, a água. Um exemplo desse tipo de edificação são os empreendimentos Net Zero Água que não consomem água da rede de abastecimento para o seu funcionamento.

Esse tipo de construção responde à falta de água e de saneamento básico com a utilização da chuva como fonte de água potável e trata os seus efluentes através de estações de tratamento. Trata-se de um empreendimento desconectado da rede e independente (PETINELLI, 2018).

O objetivo do artigo é analisar o consumo de água de um edifício, de cinco pavimentos, com três vazões diferentes de metais e louças: Padrão de Mercado, LEED e Eficiente em duas cidades com precipitações distintas a fim de se comprovar a viabilidade técnica e econômica de um edifício comercial para se tornar Net Zero Água. O projeto do edifício, entre outras informações, foi fornecido pela empresa Petinelli, responsável pela incorporação do empreendimento.

A pesquisa contemplou a revisão de edifícios eficientes no Brasil e no mundo, o edifício de estudo, a área de captação de água pluvial, a precipitação média anual nas duas cidades escolhidas e o consumo de água. Demonstrou-se que o custo adicional é inexistente e que a construção e a operação de um empreendimento com autossuficiência

hídrica é viável, inclusive onde a chuva é escassa, o que não seria possível com a utilização de equipamentos padrão de mercado e até mesmo do padrão LEED.

Comprovou-se que a eficiência no uso da água viabiliza a execução de edificações com autossuficiência hídrica sendo peça chave para a sua viabilidade técnica e econômica.

Empreendimentos Net Zero Água se mostram como instrumentos importantes para a solução da falta de água e de saneamento básico.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15527: Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

BDMEP-INMET. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa> Acesso em: 10 mar. 2018.

CETESB. O problema da escassez de água no mundo. Disponível em: <http://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/informacoes-basicas/tpos-de-agua/o-problema-da-escassez-de-agua-no-mundo> Acesso em: 07 mar. 2018.

ONU. Mais da metade da população mundial não tem acesso a saneamento básico. Disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/internacional/noticia/2017-07/mais-da-metade-da-populacao-mundial-nao-tem-aceso-saneamento-basico> Acesso em: 06 mar. 2018.

USGBC. LEED Reference Guide for Green Building Design and Construction with Global ACPs. Disponível em: <https://www.usgbc.org/resources/leed-reference-guide-green-building-design-and-construction-global-acps> Acesso em: 13 mar. 2018.







CCE | CENTRO DE COMUNICAÇÃO E EXPRESSÃO  
CTC | CENTRO TECNOLÓGICO  
CURSO DE ARQUITETURA E URBANISMO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL  
CURSO DE DESIGN

PATROCÍNIO:



APOIO:

