

Jean Carlos Rodrigues
(Organizador)

ENGENHARIA DE MATERIAIS E MEIO AMBIENTE:

reciclagem, sustentabilidade,
novos processos e desafios
Vol. 3



Jean Carlos Rodrigues
(Organizador)

**Engenharia de materiais e
meio ambiente: reciclagem,
sustentabilidade, novos processos
e desafios**

Vol. 3

Ponta Grossa
2023

Direção Editorial

Prof.º Dr. Adriano Mesquita Soares

Organizador

Prof.º Me. Jean Carlos Rodrigues

Capa

AYA Editora

Revisão

Os Autores

Executiva de Negócios

Ana Lucia Ribeiro Soares

Produção Editorial

AYA Editora

Imagens de Capa

br.freepik.com

Área do Conhecimento

Engenharia

Conselho Editorial

Prof.º Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva

Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí

Prof.º Dr. Aknaton Toczec Souza

Centro Universitário Santa Amélia

Prof.ª Dr.ª Andréa Haddad Barbosa

Universidade Estadual de Londrina

Prof.ª Dr.ª Andreia Antunes da Luz

Faculdade Sagrada Família

Prof.º Dr. Argemiro Midonês Bastos

Instituto Federal do Amapá

Prof.º Dr. Carlos López Noriega

Universidade São Judas Tadeu e Lab. Biomecatrônica - Poli - USP

Prof.º Me. Clécio Danilo Dias da Silva

Centro Universitário FACEX

Prof.ª Dr.ª Daiane Maria De Genaro Chirolí

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.ª Dr.ª Danyelle Andrade Mota

Universidade Federal de Sergipe

Prof.ª Dr.ª Déborah Aparecida Souza dos Reis

Universidade do Estado de Minas Gerais

Prof.ª Ma. Denise Pereira

Faculdade Sudoeste – FASU

Prof.ª Dr.ª Eliana Leal Ferreira Hellvig

Universidade Federal do Paraná

Prof.º Dr. Emerson Monteiro dos Santos

Universidade Federal do Amapá

Prof.º Dr. Fabio José Antonio da Silva

Universidade Estadual de Londrina

Prof.º Dr. Gilberto Zammar

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.ª Dr.ª Helenadja Santos Mota

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, IF Baiano - Campus Valença

Prof.ª Dr.ª Heloísa Thaís Rodrigues de Souza

Universidade Federal de Sergipe

Prof.ª Dr.ª Ingridi Vargas Bortolaso

Universidade de Santa Cruz do Sul

Prof.ª Ma. Jaqueline Fonseca Rodrigues

Faculdade Sagrada Família

Prof.ª Dr.ª Jéssyka Maria Nunes Galvão

Faculdade Santa Helena

Prof.º Dr. João Luiz Kovaleski

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.º Dr. João Paulo Roberti Junior

Universidade Federal de Roraima

Prof.º Me. Jorge Soistak

Faculdade Sagrada Família

Prof.º Dr. José Enildo Elias Bezerra

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Ubajara

Prof.ª Dr.ª Karen Fernanda Bortoloti

Universidade Federal do Paraná

Prof.ª Dr.ª Leozenir Mendes Betim

Faculdade Sagrada Família e Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais

Prof.ª Ma. Lucimara Glap

Faculdade Santana

Prof.º Dr. Luiz Flávio Arreguy Maia-Filho

Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof.º Me. Luiz Henrique Domingues
Universidade Norte do Paraná

Prof.º Dr. Milson dos Santos Barbosa
Instituto de Tecnologia e Pesquisa, ITP

Prof.º Dr. Myller Augusto Santos Gomes
Universidade Estadual do Centro-Oeste

Prof.ª Dr.ª Pauline Balabuch
Faculdade Sagrada Família

Prof.º Dr. Pedro Fauth Manhães Miranda
Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof.º Dr. Rafael da Silva Fernandes
Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Parauapebas

Prof.ª Dr.ª Regina Negri Pagani
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.º Dr. Ricardo dos Santos Pereira
Instituto Federal do Acre

Prof.ª Ma. Rosângela de França Bail
Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais

Prof.º Dr. Rudy de Barros Ahrens
Faculdade Sagrada Família

Prof.º Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares
Universidade Federal do Piauí

Prof.ª Dr.ª Silvia Aparecida Medeiros
Rodrigues
Faculdade Sagrada Família

Prof.ª Dr.ª Silvia Gaia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.ª Dr.ª Sueli de Fátima de Oliveira Miranda
Santos
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.ª Dr.ª Thaisa Rodrigues
Instituto Federal de Santa Catarina

© 2023 - **AYA Editora** - O conteúdo deste Livro foi enviado pelos autores para publicação de acesso aberto, sob os termos e condições da Licença de Atribuição *Creative Commons* 4.0 Internacional (**CC BY 4.0**). As ilustrações e demais informações contidas nos capítulos deste Livro, bem como as opiniões neles emitidas são de inteira responsabilidade de seus autores e não representam necessariamente a opinião desta editora.

E576 Engenharia de materiais e meio ambiente reciclagem, sustentabilidade, novos processos e desafios [recurso eletrônico]. / Jean Carlos Rodrigues (organizador). -- Ponta Grossa: Aya, 2023. 247 p.

v.3

Inclui biografia

Inclui índice

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN: 978-65-5379-259-3

DOI: 10.47573/aya.5379.2.190

1. Engenharia – Estudo e ensino. 2. Cimento. 3. Engenharia Civil (Geotecnia). 4. Pavimentos. 5. Solos – Manejo. 6. Pastagem. 7. Desenvolvimento de recursos hídricos. 8. Alimentos – Indústria. 9. Adubos e fertilizantes orgânicos. 10. Suínos – Criação. 11. Logística empresarial. I. Rodrigues, Jean Carlos. II. Título

CDD: 620.11

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Bruna Cristina Bonini - CRB 9/1347

International Scientific Journals Publicações de Periódicos e Editora LTDA

AYA Editora©

CNPJ: 36.140.631/0001-53

Fone: +55 42 3086-3131

WhatsApp: +55 42 99906-0630

E-mail: contato@ayaeditora.com.br

Site: <https://ayaeditora.com.br>

Endereço: Rua João Rabello Coutinho, 557
Ponta Grossa - Paraná - Brasil
84.071-150

SUMÁRIO

Apresentação 11

01

Propriedades de painéis aglomerados convencionais de talo de mamona para aplicação em ambientes internos..... 12

Bárbara Maria Ribeiro Guimarães de Oliveira
Janca Oliveira Borges
Lorran de Sousa Arantes
Mário Vanoli Scatolino
Luiz Eduardo Silva
Francisco Murilo de Luma
Josy Antevelli Osajima Furtini
Marcelo Barbosa Furtini
Lourival Marin Mendes
José Benedito Guimarães Junior

DOI: 10.47573/aya.5379.2.190.1

02

Incorporação de Óxido de Grafeno em Argamassa Cimentícia.....24

Kézia Brasilino de Souza

DOI: 10.47573/aya.5379.2.190.2

03

Material fresado como solução alternativa para pavimentação na cidade de Porto Velho-RO38

Alex Gomes Pereira
Abmael Furtado Oliveira
Gabriel Melgar Roca
Alan Jackson Andrade da Silva Bezerra
Leandro Luiz Benedix Rodrigues
Angelo Máximo Gima Paz
Odair José Brito de Oliveira
Ádison Gonçalves de Oliveira
Josenildo da Silva Santos
Armando Fernandes Gomes Delfino

DOI: 10.47573/aya.5379.2.190.3

04

Características físicas e químicas do solo de pastagens com diferentes manejos, Altamira-PA.....50

Alexsandro Lima de Sousa Junior
Vivian Dielly da Silva Farias
Sandra Andrea Santos da Silva
Salim Jacauna de Souza Junior
Samia Cristina de Lima Lisboa
Breno da Silva Santos
Glendha Thalysia Farias Sousa
Eduardo Souza Rosa
Deborah Evelyn Vieira Leite

DOI: 10.47573/aya.5379.2.190.4

05

O design higiênico de equipamentos e a limpeza CIP: uma díade de valor para a manutenção da qualidade na indústria de alimentos63

Geisla Thais Malagutti
Gisele Cristina Justen

DOI: 10.47573/aya.5379.2.190.5

06

Avaliação de mudas de cacaueteiro submetidas à fertirrigação com biofertilizantes no município de Altamira, Pará.....85

Karina Tayná Saraiva de Jesus
Glendha Thalysia Farias de Sousa
Vivian Dielly da Silva Farias
Raiane Gomes Apostolo de Santana
Maysa Lorrane Medeiros de Araújo

DOI: 10.47573/aya.5379.2.190.6

07

Fertirrigação com biofertilizante bovino e manupueira: efeito no crescimento de mudas de cacaueteiro na região Transamazônica97

Glendha Thalyssia Farias Sousa
Vivian Dielly da Silva Farias
Sandra Andrea Santos da Silva
Simone Maria Costa de Oliveira Moreira
Alexsandro Lima de Sousa Junior
Karina Tayná Saraiva de Jesus
Raine Gomes Apostolo de Santana
Maria Jose Pigo da Costa
Maria Lucia da Silva Lima

DOI: 10.47573/aya.5379.2.190.7

08

Viabilidade econômica na implantação de uma unidade de creche para suínos no sistema de integração em um município do oeste do Paraná.... 113

Guilherme Augusto Laufer
Tiago Hansel

DOI: 10.47573/aya.5379.2.190.8

09

Sistema de drenagem urbana com base na infraestrutura verde126

Marcos Rodrigues Frois
Alba Regina Azevedo Arana
Adriana Emi Büchler Otakara

DOI: 10.47573/aya.5379.2.190.9

10

A qualidade dos efluentes dos supermercados em Manaus139

Juciney da Silva Freitas
Renata Lima Borges Freitas
Diego Rocha Sabino Monteiro
Iolene Maria de Moraes de Oliveira
Aline Gabriela Silveira Araujo

DOI: 10.47573/aya.5379.2.190.10

11

Desenvolvimento de software para rastreamento entregas e coletas de insumos149

Juarez Figueredo de Oliveira
Nestor Elias Lange

DOI: 10.47573/aya.5379.2.190.11

12

Obtenção de Scaffolds de Pla via Tinkercad e impressão 3D para potencial uso em engenharia de tecido ósseo164

Aline do Socorro Monteiro Castro
Ailime Lobato Picanço de Melo
Viktor Oswaldo Cárdenas Concha
Marcele Fonseca Passos

DOI: 10.47573/aya.5379.2.190.12

13

Estudo de viabilidade do uso do bioconcreto em edificações174

Thais Aparecida Dench
Eduardo Vedovetto Santos

DOI: 10.47573/aya.5379.2.190.13

14

An Overview of the Characterization of Polymeric Nanocomposites Based on Graphene Oxide and Chitosan194

Vinicius Rossa
Luanne Ester Monteiro Ferreira
Sancler da Costa Vasconcelos
Vinicius Gomes da Costa Madriaga
Thiago de Melo Lima

DOI: 10.47573/aya.5379.2.190.14

15

Análise estrutural de uma ponte treliçada de palitos de picolé223

Diego Ferreira Leite da Silva
Fernanda Quadros de Oliveira
Gabriel Carneiro Varela

DOI: 10.47573/aya.5379.2.190.15

16

Estudo de ligantes modificados por resíduo de vidro231

Tailson Campos Melo
Avilmar Nogueira de Lima
Marcela Navarro
Ellen Rodrigues de Souza
Leandro Assunção Marcelo
Marcos Jose Cavalcante Carvalho
Patrick Anderson Miranda Lopes

DOI: 10.47573/aya.5379.2.190.16

Organizador240

Índice Remissivo241

Apresentação

É com satisfação que apresento o livro **“Engenharia de materiais e meio ambiente: reciclagem, sustentabilidade, novos processos e desafios - Volume 3”**. Esta obra reúne uma seleção de capítulos que abordam temas relevantes no campo da engenharia de materiais, com ênfase na reciclagem, sustentabilidade e desafios enfrentados atualmente.

Os capítulos compilados nesta obra oferecem uma visão abrangente das últimas pesquisas e avanços tecnológicos na área. São abordados assuntos como a utilização de novos materiais, como o óxido de grafeno, em aplicações de argamassa cimentícia, a importância do design higiênico de equipamentos na indústria de alimentos e a viabilidade econômica de projetos, como a implantação de creches para suínos.

Além disso, o livro discute questões ambientais, como o uso de sistemas de drenagem urbana baseados em infraestrutura verde, a análise da qualidade dos efluentes gerados por supermercados e o estudo de ligantes modificados a partir de resíduos de vidro. Também são explorados estudos relacionados ao uso de biomateriais, como o bioconcreto e os scaffolds de PLA impressos em 3D para engenharia de tecido ósseo.

Essa obra é uma valiosa fonte de conhecimento para estudantes e profissionais da área de engenharia de materiais, que desejam se manter atualizados sobre as mais recentes pesquisas e práticas sustentáveis. Os capítulos selecionados refletem a diversidade de abordagens e a importância do desenvolvimento de soluções inovadoras para os desafios enfrentados na engenharia de materiais.

Espero que este livro seja uma fonte inspiradora de conhecimento e que contribua para o avanço da engenharia de materiais, promovendo a sustentabilidade e o desenvolvimento de novos processos e tecnologias.

Boa leitura!

Prof.º Me. Jean Carlos Rodrigues



Propriedades de painéis aglomerados convencionais de talo de mamona para aplicação em ambientes internos

Bárbara Maria Ribeiro Guimarães de Oliveira

Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Ceará, CEP 60020-181, Campus do Pici - Bloco 709 - Fortaleza – Ceará, Brasil

Ianca Oliveira Borges

Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, Cx P.3037, CEP 37200-000, Lavras, Minas Gerais, Brasil

Lorran de Sousa Arantes

Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, Cx P.3037, CEP 37200-000, Lavras, Minas Gerais, Brasil

Mário Vanoli Scatolino

Universidade Federal Rural do Semiárido – UFRSA, 59625-900, Mossoró, RN, Brasil

Luiz Eduardo Silva

Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, Cx P.3037, CEP 37200-000, Lavras, Minas Gerais, Brasil

Francisco Murilo de Luma

Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Ceará, CEP 60020-181, Campus do Pici - Bloco 709 - Fortaleza – Ceará, Brasil

Josy Antevéli Osajima Furtini

Departamento de Química, Universidade Federal do Piauí, UFPI Campus Universitário Ministro Petrônio Portella, Bairro Ininga, CEP: 64049-550

Marcelo Barbosa Furtini

8Departamento de Construção Civil e Arquitetura, Universidade Federal do Piauí, Centro de Tecnologia, Avenida Universitária - lado ímpar, Ininga, 64049550 - Teresina, PI - Brasil

Lourival Marin Mendes

Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, Cx P.3037, CEP 37200-000, Lavras, Minas Gerais, Brasil

José Benedito Guimarães Junior

Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Cx P.3037, CEP 37200-000, Lavras, Minas Gerais, Brasil

DOI: 10.47573/aya.5379.2.190.1

RESUMO

Pensando em novas alternativas de matéria-prima para indústria de painéis, o trabalho teve como objetivo comparar painéis aglomerados oriundos de talo de mamona com painéis de madeira de pinus (tradicionalmente utilizada na indústria de painéis). As partículas de ambas as matérias-primas foram caracterizadas por meio de suas densidades básicas e análise de componentes químicos. Os painéis foram avaliados através das propriedades físicas e mecânicas. A densidade nominal dos painéis foi $0,70 \text{ g/cm}^3$. Foi utilizado adesivo ureia-formaldeído com teor de 12%, considerando a massa seca de partículas. Os parâmetros do ciclo de prensagem foram 4 MPa e $180 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 8 min. O talo de mamona e madeira de pinus apresentaram baixa e média densidade básica, respectivamente. Foi observado elevado teor de extrativos e cinzas para o talo de mamona (11,17% e 8,21%) em comparação a madeira de pinus (5,89% e 0,90%). Para o teor de holocelulose o talo de mamona apresentou menor quantidade deste componente em comparação à madeira de pinus. Para o inchamento em espessura (2 e 24 h de imersão em água) não foi observada diferença estatística significativa entre os painéis produzidos. Os painéis com madeira de Pinus apresentaram valores médios de MOE e MOR superiores em comparação aos painéis de talo de mamona. Todos os tratamentos se adequaram a norma para MOR. Para MOE apenas os painéis de madeira de Pinus se adequaram aos parâmetros. Desta forma, é possível produzir painéis aglomerados a partir do talo da mamona para utilização em ambientes internos e movelaria.

Palavras-chave: alternativas de matéria-prima. madeira de pinus. partículas. movelaria.

ABSTRACT

Thinking about new raw material alternatives for the panel industry, the aim of this study was to compare particle boards made from castor bean stalks with pine wood panels (traditionally used in the panel industry). The particles of both raw materials were characterized by means of their basic densities and analysis of chemical components. The panels were evaluated through physical and mechanical properties. The nominal density of the panels was 0.70 g/cm^3 . Urea-formaldehyde adhesive with a content of 12% was used, considering the dry mass of particles. Pressing cycle parameters were 4 MPa and $180 \text{ }^\circ\text{C}$ for 8 min. Castor bean stalk and pine wood showed low and medium basic density, respectively. A high content of extractives and ash was observed for castor bean stalk (11.17% and 8.21%) compared to pine wood (5.89% and 0.90%). For the holocellulose content, the castor bean stalk had a lower amount of this component compared to pine wood. For thickness swelling (2 and 24 h of immersion in water) no statistically significant difference was observed between the panels produced. Pine wood panels showed higher average MOE and MOR values compared to castor bean stalk panels. All treatments met the norm for MOR. For MOE only pine wood panels fit the parameters. In this way, it is possible to produce agglomerated panels from the castor bean stalk for use in interior environments and furniture making.

Keywords: raw material alternatives. pine wood. particles. furniture.

INTRODUÇÃO

Os setores de engenharia e construção civil buscam incansavelmente por materiais que consigam aliar boa resistência mecânica, boa resistência às condições de excessiva umidade e,

atualmente, que tenham a pegada “eco-friendly”. As indústrias de painéis de madeira reconstituída têm utilizado, na maioria dos casos, a madeira de florestas plantadas, principalmente do gênero *Pinus sp.* e *Eucalyptus sp.* O painel aglomerado é um produto fabricado com partículas de madeira ou material lignocelulósicos, encoladas com adesivo sintético adequado e consolidado por meio de temperatura e pressão em prensas automatizadas (IWAKIRI *et al.*, 2021). Um ponto positivo dos aglomerados é que eles podem ser construídos com qualquer material lignocelulósico que lhes confira resistência, seja madeira, cascas, talos ou fibras.

O Brasil produziu 3,560 milhões de m³ de painéis aglomerados em 2021 (FAOSTAT, 2021), enquanto que em 2020 a produção foi equivalente a 3,485 milhões de m³. Os painéis são largamente utilizados em móveis, decorações de interiores e para construções (OWODUNNI *et al.*, 2020; TASCIOGLU *et al.*, 2018). Entretanto estas matérias-primas são utilizadas para diversas aplicações, tais como energia da biomassa, produção de papel e celuloses, madeiras serradas, além de painéis de madeiras reconstituídas. Neste contexto há uma concorrência entre esses produtos; o que torna a matéria-prima com alto valor agregado.

Como alternativa a isso, experimentos destinados à avaliação do potencial tecnológico de resíduos (florestais, agrícolas e agroindustriais) são importantes do ponto de vista científico, no sentido de contribuir com novas opções de matéria-prima para as indústrias do setor madeireiro. Com a utilização dos resíduos é possível agregar valor aos mesmos, além de atenuar os descartes no meio ambiente. Pesquisadores vêm mostrando a viabilidade do emprego de resíduos agroindustriais, associados ou não a madeira, que possuem uso potencial, tais como: parte aérea e casquilho de soja (BORGES *et al.*, 2022), palha de milho (SILVA *et al.*, 2015), resíduo de sorgo (GUIMARÃES JÚNIOR *et al.*, 2016), resíduos de coco de babaçu (MACHADO *et al.*, 2017), sabugo de milho (SCATOLINO *et al.*, 2017), casca de arroz (CÉSAR *et al.*, 2017), bambu (BAZZETTO *et al.*, 2019), bagaço de cana de açúcar (BRITO E BORTOLETTO JÚNIOR, 2019), pseudocaule da bananeira (GUIMARÃES *et al.*, 2014), dentre outros.

A mamona (*Ricinus communis*) é originária de regiões da África, Ásia, Europa e Índia. Essa é uma planta de hábito arbustivo, com diversas variedades de colorações de caule, folhas e racemos (cachos), podendo ou não possuir cera no caule e pecíolo. Já os frutos, de forma geral, são formados em cápsulas com três sementes em cada. Na maioria dos casos, os frutos apresentam espinhos, mas também podem ser inermes. O caule dessa planta pode ser um potencial de ser utilizado na produção de painéis reconstituídos, com destaque para os aglomerados convencionais. Silva *et al.* (2018) utilizaram casca de mamona em várias porcentagens na produção de painéis aglomerados convencionais, encontrando resultados atrativos, principalmente em relação às propriedades físicas de absorção de água e inchamento em espessura. A casca de mamona possui extrativos em sua composição que promovem certa “repelência” à água. Tal relato pode ser um atrativo na continuidade de pesquisas envolvendo resíduos da mamona.

Dessa forma, esta pesquisa traz informações pertinentes sobre a avaliação da qualidade de painéis aglomerados produzidos com madeira de *Pinus oocarpa* e talo de mamona, com alto potencial para aplicações em movelaria e outros materiais tipicamente utilizados em ambientes internos.

MATERIAL E MÉTODOS

Coleta e preparo do material

Foram abatidas três árvores de *Pinus oocarpa* com auxílio de um motosserra, com idades próximas de 20 anos. A madeira de pinus e o talo de mamona foram obtidos no Campus universitário da Universidade Federal de Lavras – UFLA, localizada no município de Lavras - Minas Gerais, sob as coordenadas 21° 14' 45" S 44° 59' 59" W e altitude de 920 m.

Foram retirados 5 discos de cada árvore nas alturas correspondentes a 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial, para as análises de densidade básica e composição química.

Após o corte, as toras de pinus foram seccionadas em toretes de aproximadamente 58 cm e posteriormente armazenadas em um tanque com água por um período de 48 h a 85 °C, a fim de promover o “amolecimento” da madeira e facilitar o processo de laminação, além de evitar o ataque de organismos xilófagos e fungos.

Para a produção das lâminas utilizou-se um torno laminador ajustado para que fossem produzidas lâminas com espessura nominal de 2 mm e, posteriormente, guilhotinadas nas dimensões de 480 x 480 mm. As lâminas resultantes foram secas naturalmente para retirada do excesso de água livre e colocadas em estufa, até atingirem o teor de umidade de 8%. O talo de mamona seguiu os mesmos procedimentos de secagem.

Após o processo de secagem tanto as lâminas de pinus quanto os talos de mamona passaram por um processo de redução de tamanho para a geração de partículas tipo ‘Sliver’ sendo utilizado nesta etapa moinho do tipo martelo. Essas partículas foram então classificadas em peneiras sobrepostas de malha 12 (1,68 mm) e malha 20 (0,84 mm) com o objetivo de descartar partículas grosseiras e uniformizar o tamanho das partículas.

Para a produção dos painéis aglomerados, as partículas utilizadas foram as que passaram pela peneira de 12 mesh (1,68 mm) e ficaram retidas na peneira de 20 mesh (0,84 mm). Após esta classificação, elas foram secas em estufa a uma temperatura 100 °C, até que atingissem uma umidade próxima de 5%.

Densidade e análise química das partículas

Para o pinus a densidade foi determinada conforme as designações da norma técnica NBR 11.941 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003) pelo método de imersão, sendo utilizadas seis amostras para determinação desta propriedade. Já a densidade do talo da mamona foi determinada de acordo com a metodologia descrita por Vital (1984), que consiste da saturação dos talos em água e medição do deslocamento de água em proveta para determinação do volume. Posteriormente, foi obtida a massa seca do resíduo, em estufa a 100° C por 24 h.

A análise das propriedades químicas dos materiais foi realizada em triplicata. Foram determinados os teores de extrativos totais (ET), a lignina insolúvel (LI) e o teor de cinzas (CI) de acordo com a NBR 14853 (ABNT, 2010), NBR 7989 (ABNT, 2010) e NBR 13999 (ABNT, 2017), respectivamente. O percentual de holocelulose foi obtido por meio do somatório dos níveis de lignina (LI), extrativos totais (ET) e cinzas (CI), subtraídos de 100, conforme mostrado na equação 1:

$$\text{Holocelulose (\%)} = 100 - (\text{LI} + \text{ET} + \text{CI}) \quad (1)$$

Produção dos painéis aglomerados

Os painéis aglomerados foram produzidos com densidade nominal de $0,70 \text{ g/cm}^3$ e dimensões de $300 \times 300 \times 15 \text{ mm}$. Utilizou-se o adesivo a base de ureia-formaldeído com teor de sólidos de 12% em relação à massa seca das partículas. As características do adesivo foram: teor de sólidos de 68,67%, viscosidade de 470 cP, gel time de 55 s e pH de 8,72, descrições presentes na ficha técnica que acompanhava o produto.

Após a mistura manual do adesivo com as partículas, procedeu-se ao arranjo do material dentro de uma caixa de madeira formadora de colchão. O colchão foi pré-prensado a frio em prensa hidráulica com pressão de 4 MPa, durante 10 min, para retirada de ar e pré-consolidação dos painéis. Em seguida foi transportado até a prensa automática. Os parâmetros do ciclo de prensagem foram: pressão de 4,0 MPa, temperatura de 180°C e tempo de 15 min. No total, foram produzidos 3 painéis de *Pinus oocarpa* e 3 painéis de talos de mamona.

Os painéis foram acondicionados em sala climatizada $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $65 \pm 3\%$ até a cura final do adesivo e padronização da umidade. Em seguida, foram submetidos ao processo de esquadrejamento para a retirada dos efeitos de bordas e, posteriormente, na serra circular para a retirada dos corpos-de-prova e posterior avaliação dos painéis. Foram avaliados a razão de compactação, densidade aparente e o inchamento em espessura após 2 e 24 h de imersão em água, com base na D1037-100 (ASTM, 1980). Avaliou-se também flexão estática, com determinação do módulo de resistência (MOR) e de elasticidade (MOE), de acordo com a normativa DIN 52362 (1982).

O Delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado e teste de média de Tuckey a 95% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Densidade básica e composição química dos materiais lignocelulósicos

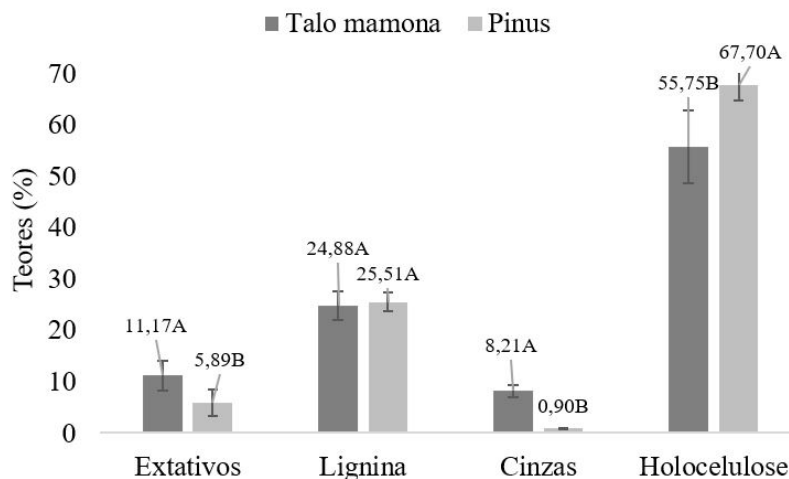
A madeira de *Pinus* apresentou densidade básica de $0,51 \pm 0,007 \text{ g/cm}^3$ e o talo de mamona $0,160 \pm 0,005 \text{ g/cm}^3$. As matérias-primas foram classificadas em função da densidade básica, sendo agrupadas em duas diferentes classes: média densidade ($0,50 - 0,75 \text{ g/cm}^3$) para a madeira de *Pinus* e baixa densidade ($<0,50 \text{ g/cm}^3$) para os talos de mamona, de acordo com a classificação de Csanády *et al.* (2015).

A densidade básica da madeira é o fator mais importante para sua utilização na indústria de painéis particulados. As espécies geralmente utilizadas apresentam densidade média entre $0,40$ a $0,60 \text{ g/cm}^3$. Quando se utiliza espécie fora deste intervalo recomenda-se uma mistura com outras madeiras, a fim de obter a densidade final desejada. Além disso, espécies de menor densidade possibilitam a produção de painéis de média densidade, assegurando uma área de contato satisfatório entre as partículas (KELLY, 1977). Desta forma, a densidade encontrada para a madeira de *Pinus* ficou dentro do intervalo recomendado pela indústria de painéis, entretanto, o talo de mamona ficou abaixo deste intervalo. A alternativa indicada seria a mistura deste material

com matérias primas de maior densidade para a obtenção das características finais desejáveis.

A Figura 1 mostra a composição química das fibras de pinus e talo de mamona. Segundo o teste de Tukey, estatisticamente, as diferenças significativas existem entre todos os teores médios das duas espécies, exceto para os teores de lignina.

Figura 1 - Composição química das fibras de talo de mamona e madeira de Pinus.



Como observado na figura acima o talo de mamona apresenta em relação à madeira de Pinus, maior quantidade de extrativos e cinzas. Para a produção de painéis de madeira não é recomendado um alto teor de extrativo no material lignocelulósico. Martins *et al.* (2018) explica em sua pesquisa que espécies com elevados teores de extrativos podem produzir painéis com baixa qualidade, devido à baixa qualidade de colagem. Segundo Frihart e Hunt (2010), uma vez que os extrativos presentes nestes materiais podem alterar o pH, resultam em sua pré-cura ou inibem a sua umectação, fluidez e penetração.

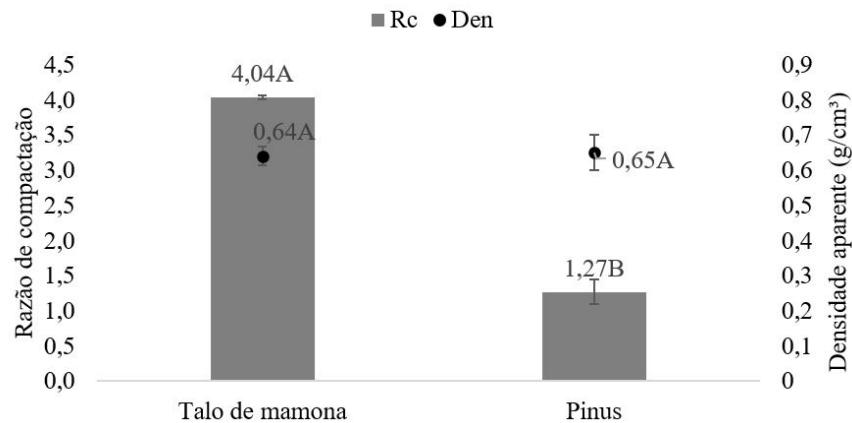
Para o conteúdo de lignina não foi observada diferença estatística entre as espécies. Segundo Bufalino *et al.* (2012), elevados teores de lignina são desejáveis para a produção de painéis de madeira reconstituído, uma vez que a lignina apresenta uma estrutura condensada que resulta no aumento das propriedades mecânicas do material.

Em relação ao teor de cinzas o talo de mamona apresentou cerca de 800% a mais de cinzas que a madeira de Pinus. Segundo Iwakiri *et al.* (2005), o teor de cinzas ideal para a produção de painéis é de aproximadamente 0,5%, visto que os compostos inorgânicos em alta quantidade influenciam no pH dos painéis prejudicando a resistência e coesão da linha de cola. Desta forma, apenas o Pinus se adequou para as exigências quanto ao teor de cinzas.

Em relação ao teor de holocelulose a madeira de pinus se destacou por apresentar maior conteúdo deste componente químico.

Caracterização física dos painéis

Os resultados de razão de compactação e densidade aparente estão apresentados na Figura 2.

Figura 2 - Valores médios de razão de compactação e densidade aparente.

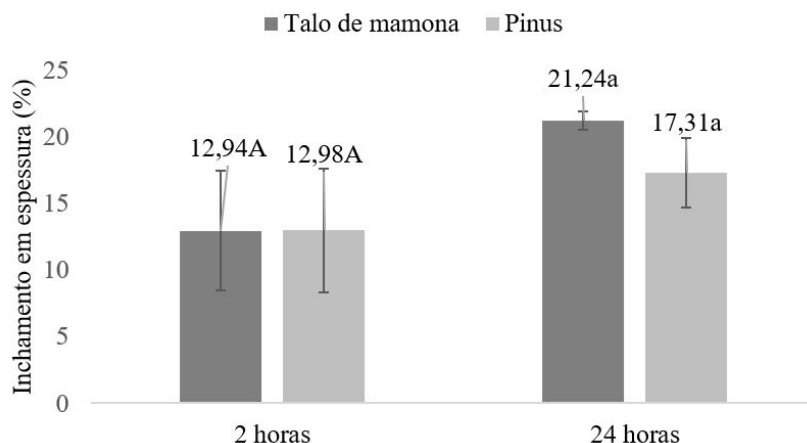
Para a razão de compactação foi observada diferenças estatísticas significativas pelo teste de Tukey. Tais resultados se devem à baixa densidade do talo de mamona ($0,16 \text{ g/cm}^3$) em comparação com a madeira de eucalipto ($0,51 \text{ g/cm}^3$), e como a razão de compactação é determinada pela relação entre a densidade do painel pela densidade do material lignocelulósico, tal valor aumenta conforme é adicionada maior porcentagem de fibra na associação com madeira.

Maloney (1993) considera a faixa ideal para razão de compactação entre 1,3 e 1,6 para que se possa atingir o processo de densificação e consolidação do painel até a espessura final. Os valores médios de razão de compactação demonstram que painéis produzidos a partir do talo de mamona apresentaram valores superiores ao recomendado, enquanto que, painéis produzidos a partir da madeira de Pinus ficaram próximos ao intervalo recomendado. Para os painéis produzidos com talos de mamona os resultados foram próximos das literaturas que trabalharam com resíduos agrícolas e agroindustriais de baixa densificação, tais como Guimarães Junior *et al.* (2016); Scatolino *et al.* (2013) e Scatolino *et al.* (2017).

Para a densidade aparente os painéis não apresentaram diferenças significativas, sendo que os valores médios de ambos ficaram acima de $0,60 \text{ g/cm}^3$; sendo considerados painéis de média densificação de acordo com a CS 236-66 (COMMERCIAL STANDARD - CS, 1968). As densidades aparentes médias dos painéis se diferiram da densidade nominal estipulada de $0,70 \text{ g/cm}^3$. Esse fato pode ser justificado devido à perda de partículas durante a formação do colchão, como também pode estar relacionado ao retorno em espessura dos painéis após a retirada da prensa quente e acondicionamento, com conseqüente aumento do volume dos painéis e redução da densidade nominal inicial.

Os resultados de inchamento em espessura após 2 e 24 h de imersão em água estão apresentados na Figura 3.

Figura 3 - Valores médios de inchamento em espessura em 2 e 24 h de imersão em água.



Para o inchamento em espessura após 2 e 24 h de imersão em água foi observada diferença estatística significativa entre os painéis produzidos. Nota-se que independente da propriedade mecânica avaliada MOR ou MOE, tem-se que painéis produzidos a partir do talo de mamona apresentam menores resistências a flexão quando comparados com painéis produzidos a partir da madeira de Pinus. Podendo esse evento ser atribuído a sua constituição química, que apresenta elevada quantidade de cinzas em sua superfície (8,21%), afetando negativamente a molhabilidade do adesivo na superfície das fibras, prejudicando desta forma a adesão e consequentemente prejudicando sua estabilidade dimensional e propriedade mecânica dos painéis (LI *et al.*, 2011).

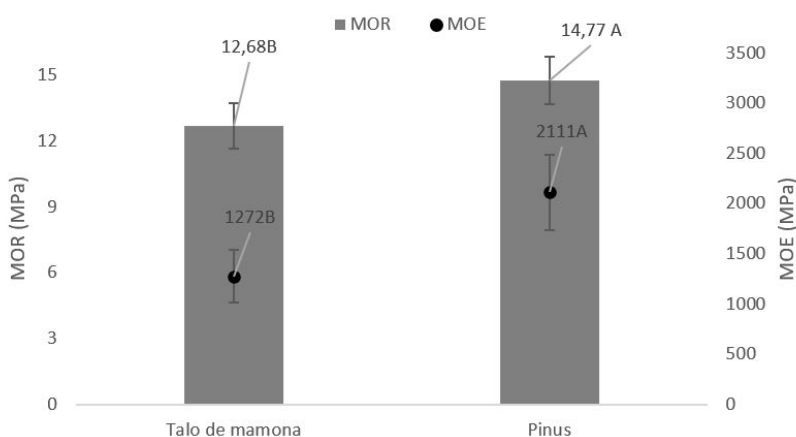
A norma brasileira ABNT NBR 14810-1 (2006) estabelece que o inchamento em espessura após 2 h seja no máximo de 8%. Todos os valores foram superiores ao exigido pela ABNT.

A norma CS 236-66 estipula apenas valores para inchamento em espessura após 24 h de imersão utilizando ureia-formaldeído, de 35%. Com base nesta norma, todos os painéis produzidos cumpriram os requisitos mínimos.

Propriedades mecânicas dos painéis

Os resultados de módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) em flexão estática estão apresentados na Figura 4.

Figura 4 - MOE: módulo de elasticidade; MOR: módulo de ruptura.



Os painéis produzidos com madeira de pinus apresentaram valores médios de módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR), estatisticamente, superiores em comparação

aos painéis de talo de mamona.

A norma CS 236-66 (1968), para aglomerados com densidade variando entre 0,60 e 0,80 g/cm³, estabelece valores médios de 11,2 MPa para MOR. Desta forma, todos os tratamentos se adequaram a norma.

Quando comparados os valores encontrados neste estudo com a norma CS 236-66 (1968) padrão para aglomerados com densidade entre 0,60 e 0,80 g/cm³, que estabelece valores médios de 2454,9 MPa para MOE, todos os painéis produzidos independentemente do tipo de fibra utilizados ficaram abaixo do recomendado por esta norma.

Enquanto que a norma ANSI/A 208.1/93, estabelece valor mínimo de MOE de 1900 MPa para painéis de madeira aglomerada de média densidade. Dessa forma, os painéis de madeira de Pinus estão adequados para esta normativa.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A tentativa de incorporar resíduo agrícola em materiais que tenham futuro valor agregado não começou em tempos atuais. No Brasil, desde o surgimento das primeiras plantas de produção de painéis aglomerados, tem-se o ideal de conseguir matérias-primas em opção àquelas tradicionais, visando à qualidade final em termos de resistência mecânica e que tenha custo reduzido de processamento e confecção. A descoberta de materiais alternativos que forneçam essas especificidades implicaria em grandes avanços para a indústria e sociedade. Neste trabalho, avaliamos a qualidade de painéis aglomerados convencionais confeccionados com talos de mamona, em comparação com materiais produzidos com a espécie tradicional de pinus. Com base nos resultados obtidos nesta pesquisa as seguintes conclusões podem ser apresentadas:

As fibras de talo de mamona e pinus foram classificadas como fibras de baixa densidade.

Quanto à composição química o talo de mamona apresenta elevada quantidade de extrativos e cinzas que podem interferir no processo de adesão das partículas durante o processo de formação dos painéis. Para o teor de lignina os teores encontrados para ambas as espécies foram similares. Enquanto que, para o teor de holocelulose a madeira de pinus obteve destaque pelo seu maior conteúdo.

Para o módulo de ruptura (MOR) todos os painéis atenderam os requisitos mínimos da norma CS 236-66 (1968);

Enquanto para o módulo de elasticidade ambos os painéis (tanto de talo de mamona quanto pinus) não atenderam requisitos mínimos da norma CS 236-66 (1968). Já para a norma ANSI/A 208.1/93, apenas painéis de pinus atenderam a essa normativa.

Neste estudo, foi demonstrado que é possível produzir painéis aglomerados com talo de mamona para que sejam aplicados em movelaria e outras peças para utilização em ambientes internos. Contudo, algumas variáveis do processo necessitam de mais estudos, como modificação química das partículas, mistura com outras madeiras de maior densidade, carga de prensagem, entre outras.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN NATIONAL STANDARD. Matformed wood particleboard: specification ANSI/A 208.1.1993. Gaithersburg: National Particleboards Association, 1993. 9p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D1037: Standard methods of evaluating properties of wood-base fiber and particles. West Conshohocken, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11941: Madeira – Determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13999: Papel, cartão, pastas celulósicas e madeira – Determinação do resíduo (cinza) após a incineração a 525 °C. Rio de Janeiro, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14853: Madeira – Determinação do material solúvel em etanol-tolueno e em diclorometano e em acetona. Rio de Janeiro, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7989: Pasta celulósica e madeira – Determinação de lignina insolúvel em ácido. Rio de Janeiro. 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14810-1,2,3: chapas de madeira aglomerada. Rio de Janeiro, 32p., 2002
- BAZZETTO, J.T.L.; BORTOLETTO JUNIOR, G.; BRITO, F. M.S. Effect of Particle Size on Bamboo Particle Board Properties. *Floresta e Ambiente*, V. 26, n.2, 2019.
- BORGES, I. O.; MIRANDA, E. H. N.; BRITO, F. M. S.; ALTAFIN, N. C. S.; MENDES, L. M.; JÚNIOR, J. B. G. Potential for use of waste from soybean culture treated with water and sodium hydroxide for production of agglomerated panels. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 2, 2022. DOI: 10.33448/RSD-V11I2.25762.
- BRITO, F. M. S., BORTOLETTO JÚNIOR, G. Thermal modification of sugarcane waste and bamboo particles for the manufacture of particleboards. *Revista Árvore*, v. 43, n.1, 2019. <https://doi.org/10.1590/1806-90882019000100012>.
- BUFALINO, L. *et al.* Particleboards made from australian red cedar: processing variables and evaluation of mixed-species. *Journal of Tropical Forest Science*, v.24, n.2, p. 162-172, 2012.
- CÉSAR, A. A. S *et al.* Transforming rice husk into a high-added value product: potential for particleboard production. *Ciência Florestal*, v. 27, n. 1, p. 303-313, 2017. doi: 10.5902/1980509826468.
- COMMERCIAL STANDARD. CS 236-66: mat formed wood particleboard. Geneva, 1968.
- CSANÁDY, E. *et al.* Quality of machined wood surfaces. New York: Springer International Publishing, 2015.
- DIN-NORMEN FÜR HOLZFASERPLATEN SPANPLATTEN SPERRHOLZ. Testing of wood chipboards bending test, determination of bending strength: DIN 52362. Berlin, 1982.
- FAOSTAT - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Forestry Production and Trade - 2021. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>>.

FRIHART, C. R.; HUNT, C. G. Adhesives with Wood Materials Bond Formation and Performance. Wood Handbook - Wood as an engineering material, Madison, cap. 10, p. 1-24, 2010.

GUIMARÃES, B. M. R. *et al.* Chemical treatment of banana tree pseudostem particles aiming the production of particleboards. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 38, n.1, p. 43-49, 2014. doi: 10.1590/S1413-70542014000100005

GUIMARÃES, J.R. *et al.* Inclusão de resíduo da cultura de sorgo em painéis aglomerados de Eucalipto. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 2016. doi: 10.4336/2016.pfb.36.88.1036.

IWAKIRI, S. Painéis de madeira. Curitiba: FUPEF, 2005. 247 p.

IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R.; ZUNTA, R. R.; PEREIRA, G. F.; ROSA, T. S. Avaliação dos efeitos do adesivo, gramatura e pressão na qualidade de painéis EGP de *Eucalyptus badjensis*. *Scientia Forestalis*, v. 49, p. 1-12, 2021.

KELLY, M. W. Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard. Madison, WI: USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1977. 65 p. (Gen. Tech. Rep. FPL-10).

LI X, C. Z, WINANDY, J.E, BASTA, A.H. Effect of oxalic acid and steam pretreatment on the primary properties of UF-bonded rice straw particleboards. *Ind Crops Prod* 2011; 33: 665-9.

MACHADO, N.A.F *et al.* Painéis aglomerados fabricados com resíduos do coco babaçu. - *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.12, n.2, p.202-209, 2017.

MALONEY, T.M. 1993. Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing. M. Freeman, San Francisco, USA. 689pp.

MARTINS, E.H., *et al.* Soybean waste in particleboard production. *Ciência. e Agrotecnologia* 42, 186–194, 2018.

OWODUNNI, A. A. *et al.* Properties of green particleboard manufactured from coconut fiber using a potato starch based adhesive. *Bioresouces*, Raleigh, v. 15 n. 2 p. 22792292, 2020.

SCATOLINO, M.V. *et al.* Eucalyptus wood and coffee parchment for particleboard production: Physical and mechanical properties. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 41, n. 2. Mar-Apr 2017.

SCATOLINO, M.V., COSTA, A.O., GUIMARÃES JUNIOR, J.B., *et al.*, “Eucalyptus wood and coffee parchment for particleboard production: Physical and mechanical properties”, *Ciência e Agrotecnologia*, v. 41, n. 2, pp. 139–146, 2017.

SILVA, D. W. *et al.* MDP com partículas de eucalipto e palha de milho. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 43, n. 108, p. 853-862, dez. 2015.

SILVA, D.W., SCATOLINO, M.V., do PRADO, N.R.T. *et al.* Addition of Different Proportions of Castor Husk and Pine Wood in Particleboards. *Waste Biomass Valor* 9, 139–145 (2018). <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9742-7>.

TASCIOGLU. C.; UMEMURA, K.; YOSHIMURA, T. Seventh-year durability evaluation of zinc borate incorporated wood-plastic composites and particleboard. *Compos B Eng*, v.137, p. 123-128,2018. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.11.011>.

VITAL, B.R. Métodos de determinação da densidade da madeira. Viçosa, MG: Sociedade de Investigações Florestais, 21p., 1984.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio da Fundação Cearense de Amparo ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Universidade Federal do Ceará. Este trabalho foi financiado pelo FUNCAP/CNPq sob Concessão (processo n° DCT-0182-00141.01.00/21 e 05803349/2022, edital FUNCAP/CNPq N° 03/2021).

Agradecemos também a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amapá (FAPEAP).



Incorporação de Óxido de Grafeno em Argamassa Cimentícia

Incorporation of Graphene Oxide in Mortar Cementitious

Kézia Brasilino de Souza

DOI: 10.47573/ayd.5379.2.190.2

RESUMO

No cenário atual, os nanomateriais (nanosilica, nanotubos de carbono e derivados do grafeno) têm se destacado no mercado devido sua versatilidade atribuída as suas propriedades, permitindo a obtenção de compósitos mais resistentes e duráveis. O óxido de grafeno (GO) vem sendo empregado no reforço da matriz cimentícia, principalmente devido sua elevada condutibilidade térmica e elétrica, aumento da superfície específica, alto módulo de elasticidade e superior resistência à tração. Desse modo, o presente trabalho tem como objetivo analisar, por meio de diferentes pesquisas, a influência da adição do GO incorporado a argamassa à base de cimento, a fim de investigar seu comportamento quanto as propriedades do estado fresco e estado endurecido, as propriedades mecânicas, o efeito sobre perfil térmico e calor de hidratação de pastas de cimento Portland e a relação quanto ao comportamento reológico. Os trabalhos apresentados também utilizam diferentes proporções de GO e tipo de cimento Portland às misturas. Além disso, certas amostras apresentam adição de partículas sílica ativa, grafite expansível, a título de comparação com argamassas cimentícias. Portanto, considerando os cenários mencionados, em suas maiorias, a incorporação do GO em argamassas de cimento Portland tem influência de modo significativo à mistura.

Palavras-chave: óxido de grafeno. matriz cimentícia. influência.

ABSTRACT

In the current scenario, nanomaterials (nanosilica, carbon nanotubes and graphene derivatives) have stood out in the market due to their versatility attributed to their properties, allowing the production of more resistant and durable composites. The graphene oxide (GO) has been used to reinforce the cement matrix, mainly due to its high thermal and electrical conductivity, increase of the specific surface, high elasticity modulus and superior tensile strength. Thus, this paper aims to analyze, through different studies, the influence of the addition of GO incorporated into cement-based mortar, in order to investigate its behavior regarding the properties of the fresh state and hardened state, the mechanical properties, the effect on thermal profile and heat of hydration of Portland cement pastes and the relationship regarding the rheological behavior. The presented works also use different proportions of GO and Portland cement type to the mixtures. In addition, certain samples present addition of silica fume particles, expandable graphite, by way of comparison with cementitious mortars. Therefore, considering the scenarios mentioned, in their majority, the incorporation of GO in Portland cement mortars has a significant influence on the mixture

Keywords: graphene oxide. cementitious matrix. influence.

INTRODUÇÃO

É sabido que o grafeno vem se destacando na construção civil devido sua eficiência e vantagens. Consoante, Chuah *et al.* (2014), o grafeno é um nanomaterial que permite a produção dos materiais elevando sua resistência. Além disso, tem um excelente módulo de Young, ótima condutividade térmica e grande área de superfície específica (JIMÉNEZ-SUÁREZ; PROLONGO, 2020).

Segundo Barbosa (2015), o óxido de grafeno (GO) é a nanoestrutura de carbono atualmente mais utilizada em novas pesquisas, especialmente na produção de materiais cimentícios. De acordo com Gong *et al.* (2015) e Jiang e Wang (2017), devido GO ser bem dispersos em água e conter ótimas propriedades mecânicas, indica grande potencial na adição de compósitos cimentícios.

Para Mohammed *et al.* (2015), o óxido de grafeno apresenta elevada área superficial específica e sua dimensão colabora para que hidratação das partículas de cimento sejam satisfatórias, e com isso gere pontos de nucleação, mitigação dos vazios, e dessa forma proporciona a melhora da durabilidade dos compósitos cimentícios.

Li *et al.* (2017) afirma que a eficiência da incorporação dos compósitos à base de grafeno aos produtos à base de cimento se subordina principalmente a estabilidade da dispersão do grafeno na matriz de cimentícia. Além do mais, ao adicionar diretamente na matriz de cimento a solução aquosa de GO, é negativa, pois evita uma dispersão uniforme das folhas de GO na matriz. Sendo assim, estudos constam que a produção de GO fabricados *in situ* apresentam melhor efeito de dispersão, melhor eficiência de reforço e custos mais baixos (CHEN *et al.*, 2020), (NASIBULIN *et al.*, 2013) e (ZHANG *et al.*, 2022).

Diante do que foi explanado, e por o uso do óxido de grafeno ainda ser pouco explorado na incorporação da matriz cimentícia, o objetivo deste presente estudo é apresentar um estado da arte que tem como base elucidar o comportamento e características do GO, como constituinte de argamassas cimentícias utilizadas na construção civil, através da abordagem da pesquisa qualitativa, pesquisando dissertações, teses e artigos, a fim de realizar um estudo teórico bibliográfico.

ESTADO DA ARTE

Visa a apresentação de trabalhos desenvolvidos, a fim de compreender sobre a influência do óxido de grafeno incorporado a base cimentícia. Dessa maneira, o trabalho experimental de Marques (2022) analisa o comportamento mecânico das amostras. A pesquisa de Araújo *et al.* (2022) trabalha com objetivo de entender as propriedades da argamassa no estado fresco e endurecido. Horta *et al.* (2022) desenvolveu trabalho com objetivo de compreender os efeitos do calor de hidratação de pastas de cimento Portland e na Pesquisa de Hota *et al.* (2021) a fim de investigar as alterações no comportamento reológico das amostras.

Marques (2022)

Apresenta o trabalho da síntese do óxido de grafeno (GO) à matriz cimentícia e outra amostra com incorporação de grafite expansível, afim de verificar e analisar a influência da inclusão de óxido de grafeno no seu comportamento mecânico, referente a resistência à compressão axial.

Diante desse contexto, inicialmente foi elaborado a produção do óxido de grafeno, depois a moldagem dos espécimes e por fim realizados os ensaios de resistência à compressão axial. E assim, as amostras foram divididas em 16 corpos de provas (CP's), dentre elas, um grupo contendo GO, outro grupo incorporado grafite e mais um grupo abrangendo a composição

cimentícia convencional (argamassa tradicional).

O grafite expansível em flocos escolhido foi o produto denominado Graflexp 9560-150, e a partir dele resultou na transformação para o GO (Figura 1). O GO utilizado no estudo foi resultado do processo de síntese, chamado de Método de Hummers (1958), este sofreu adaptação dos seus parâmetros. Com a finalidade de obter uma boa dispersão do GO à mistura de cimento, foi realizada o processo de moagem, por conseguinte o resultado foi promissor, pois a mistura obteve aspecto uniforme entre os elementos constituintes.

Figura 1 – Etapas de transformação do grafite em óxido de grafeno.



Fonte: Marques (2022).

O traço do composto cimentício, seguiu o traço decorrente da argamassa de cimento na proporção 1:3:0,48, os CP's moldados em moldes cilíndricos de 1" por 2" (diâmetro de 25,04 mm e altura de 50,08mm) e aplicado cimento CP II F 32.

Após as amostras moldadas foram realizados ensaios de compressão axial. Os ensaios referentes ao prazo de 7 e 28 dias foram realizados na prensa de capacidade de carga de 300 kN (Figura 2), e os de prazo de 14 dias foram realizados na prensa com célula de carga de 5000 kgf (Figura 3). Durante o processo de ruptura das amostras observou-se interferências, pois a prensa no primeiro sinal de deformação encerrava o teste de compressão e estava ocorrendo inicialmente a ruptura na parte do capeamento. Dessa maneira, foi necessário realizar processo de retífica, a fim de retirar por completo a camada de capeamento que estava interferindo nos resultados, para os corpos de prova de 14 dias, que foram rompidos na presa com célula de carga de 200 kN. Em vista disso, foi possível obter a resistência a compressão dos três grupos de estudos na idade de 7, 14 e 28 dias, consoante a Tabela 1.

Figura 2 – Prensa adotada para ensaios referente aos 07° e 28° dias



Fonte: Marques (2022).

Figura 3 – Prensa adotada para ensaios referente ao 14° dia.

Fonte: Marques (2022).

Tabela 1 – Resultados de Ensaios de Resistência à Compressão (Média)

Idade	Grupo	Resistência à Compressão (Mpa)	Desvio Padrão	Coefficiente Variância
7	Controle	2,969	0,27	12%
	GO (0,23%)	8,647	2,75	32%
	Grafite (0,23%)	10,892	1,03	9%
14	Controle	10,107	1,91	16%
	GO (0,23%)	11,569	2,45	21%
	Grafite (0,23%)	12,877	2,07	16%
28	Controle	11,770	1,54	13%
	GO (0,23%)	11,240	0,73	7%
	Grafite (0,23%)	15,990	2,66	17%

Fonte: Marques (2022).

Por fim, por meio dos resultados dos ensaios de compressão axial, o resultado mais próximo do absoluto foi o do ensaio realizado com 7 dias, pois apresentou menos interferências durante a execução do experimento.

Além disso, pode-se concluir que a adição de óxido de grafeno ou de grafite expansível na proporção 0,23% em relação à massa de cimento tornou a elevação da resistência à compressão axial em compósito de matriz cimentícia. Ademais, o aumento da resistência a compressão foi maior nas amostras com adição de grafite expansível (0,23%) em todos os períodos de ensaios (7, 14 e 28 dias).

Araújo et al. (2022)

Os autores realizaram ensaios da argamassa cimentícia no estado fresco e no estado endurecido a fim de avaliar a influência da incorporação de partículas de grafeno e sílica ativa (SA), nas propriedades físicas e de durabilidade da mistura. Desse modo, durante o estado fresco analisaram a consistência e densidade aparente, e no estado endurecido estudaram as propriedades físicas de absorção de água, resistência a compressão, resistência a tração na flexão, módulo de elasticidade estático das amostras cimentícias.

Fica sabido sobre os materiais utilizados que, o cimento para produção das argamassas, foi o cimento Portland tipo CP-V ARI, o SA possuía massa específica de 2,18 g/cm³ e as partículas de grafeno foram obtidas pela fabricante em forma de pó.

A eficiência da incorporação de grafeno em compósitos de base de cimento está relacionada o quão as partículas estão dispersas nas misturas. Conseqüentemente, a dispersão do grafeno foi conduzida de acordo com o método de sonificação, sonificação de de 1:0,25:200. Este procedimento consiste na aplicação de microbolhas (cavitação) na solução aquosa, as etapas podem ser observadas na Figura 4.



Fonte: Araújo et al. (2023).

Logo, as argamassas foram obtidas com traço de 1:2,5:0,4 (cimento: agregado: relação água cimento). Diante disso, foi incorporado partículas de grafeno, com relação de 0,2% a massa do aglomerante, e sílica ativa (SA), com substituição parcial do cimento Portland, 5 % em massa. A Tabela 2 informa a composição das argamassas analisadas, teor de aditivo nas misturas com grafeno 0,5%. A mistura de referência com 0,15% de grafeno.

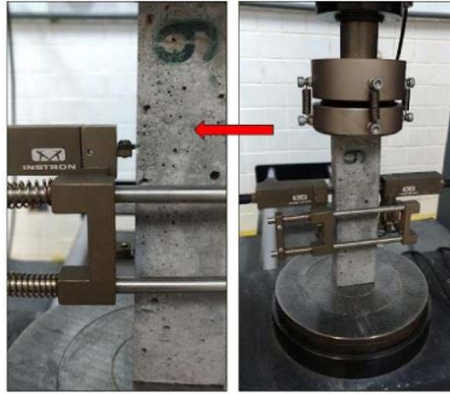
Tabela 2 – Distribuição das amostras ensaiadas.

Argamassa	Cimento (Kg)	Areia (Kg)	Grafeno (Kg)	Sílica ativa (Kg)	Água (Kg)	SP (%) ¹
MREF	586	1.464,00	-	-	234	0,15
MGRAF	586	1.464,00	1,17	-	234	0,5
MGR.SA	554,05	1.458,04	1,17	29,16	233,29	0,5
MGR.SS2	554,05	1.458,04	1,17	29,16	233,29	0,5

1Pela massa de aglomerante;
2SA sonificada juntamente com o grafeno.
Fonte: Araújo et al. (2022)

As argamassas no estado fresco foram caracterizadas segundo suas propriedades seguindo procedimentos de norma. A densidade de massa e consistência conforme a determinação da NBR 13273 e NBR 13278, respectivamente. A absorção de água, resistência à compressão e tração na flexão resultante dos prazos de 07 e 28 dias, como relatam as NBR 9778, NBR 13279 e NBR 13279, respectivamente. Módulo de elasticidade acordante aos 07 e 28 dias, visa o corpo de prova prismático (40 x 40 x 160 mm) carregado axialmente enquanto ocorre deformação lateral da peça. Sendo no ensaio, o espécime submetido a 4 carregamentos cíclicos com carga máxima referente à 33% da carga de ruptura da amostra. Segue Figura 5 com configuração do ensaio.

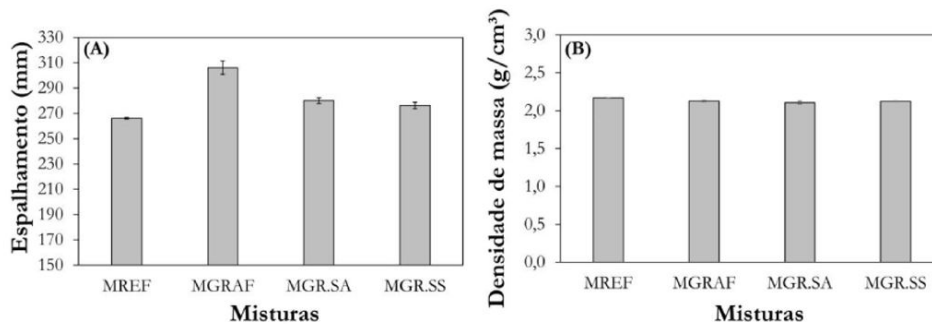
Figura 5 – Configuração do ensaio.



Fonte: Araújo et al. (2022).

Portanto, com os resultados do espalhamento e densidade (Figura 6), conclui-se sobre a argamassa no estado fresco. Sendo a mistura MGRAF a que apresentou maior espalhamento dentre as argamassas analisadas, e as misturas MGR.SA e MGR.SS com a incorporação de SA reduziram espalhamento em 8,47% e 9,76%, respectivamente. Em relação à densidade, os resultados evidenciam que não houve discrepâncias estatísticas significativas nesta propriedade pela adição de grafeno ou substituição parcial de cimento Portland por SA.

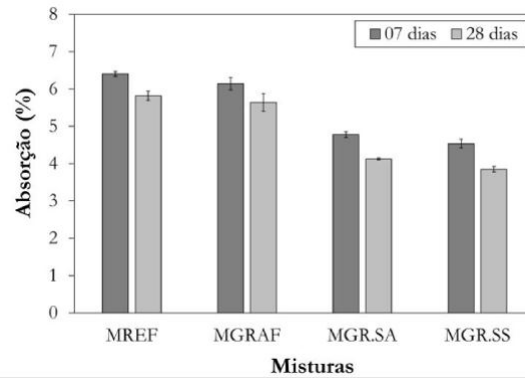
Figura 6 – (A) Espalhamento e (B) densidade de massa das argamassas.



Fonte: Araújo et al. (2022).

Se tratando do estado endurecido, a Figura 7, apresenta os resultados da absorção de água das amostras nas idades de 07 e 28 dias. Sendo, aos 7 dias, os resultados MREF e MGRAF semelhantes. Mas as MGF.SA e MG.SS evidenciaram reduções de 25% e 29%, respectivamente, em comparação com MREF. Aos 28 dias os espécimes MREF e MGRAF continuaram com resultados semelhantes, no entanto os corpos de prova MGF.SA e MG.SS diminuíram 29,05% e 33,88%, respectivamente, em relação a mostra MREF. Diante desse contexto, os resultados direcionam que SA foi eficaz na redução da absorção em ambas as idades e espécimes estudadas.

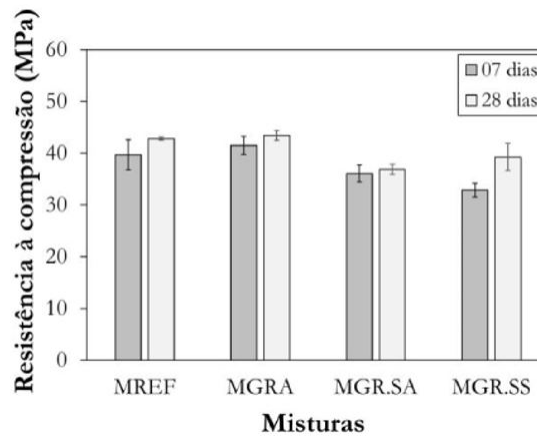
Figura 7 – Absorção das argamassas aos 07 e 28 dias.



Fonte: Araújo et al. (2022).

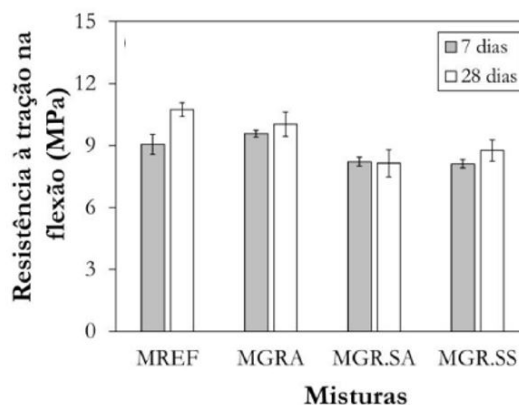
Por meio dos resultados da resistência a compressão e tração na flexão dos corpos de prova à base cimentícia com incorporação de grafo ou SA nas idades de 07 e 28 dias, não foi constatada influência significativa dos incorporadores, pois as amostras mantiveram resultados próximos da mostra de referência, mostradas nas Figuras 8 e 9.

Figura 8 – Resistência à compressão das argamassas.



Fonte: Araújo et al. (2022).

Figura 9 – Resistência à tração na flexão.

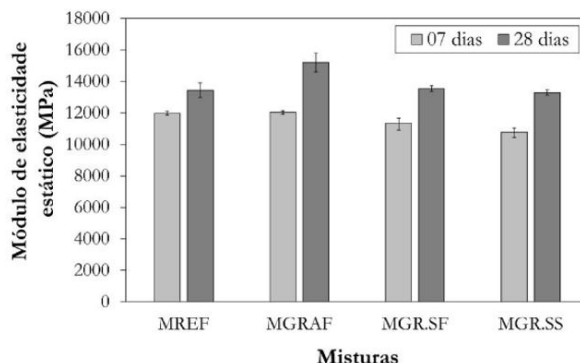


Fonte: Araújo et al. (2022).

Quando tratado do módulo de elasticidade estático das argamassas aos 07 e 28 dias, mostrada na Figura 10, é possível notar a influência dos incorporadores nas amostras. Sendo, a argamassa MREF apresentando valores de 12,00 GPa e 12,43 GPa aos 07 e 28 dias, respectivamente, A argamassa MGRAF aumento de 13,07% no módulo de elasticidade aos 28 dias

em comparação com MREF. Porém as argamassas MGRSF e MGR.SS, quando comparadas com a argamassa MREF, em ambas as idades, não foram encontradas mudanças significativas. Para as argamassas MGR.SA e MGR.SS a propriedade dos 07 aos 28 dias elevaram 27,04% e 23,11%, respectivamente.

Figura 10 – Módulo de elasticidade estático.



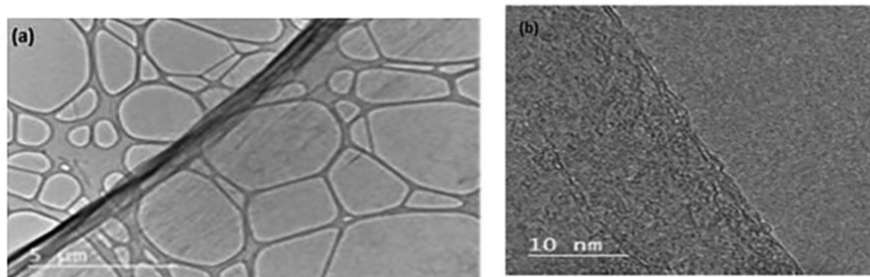
Fonte: Araújo et al. (2022).

Horta et al. (2022)

Relatam os efeitos da adição do óxido de grafeno (OG) em pastas de cimento Portland sobre perfil térmico e calor de hidratação. Os espécimes foram feitos somente com CP-III-RS-40 (CP-III-REF), além daqueles que foram adicionados com óxido de grafeno na forma de solução aquosa com concentração de 5,0 g/L, nos teores de 0,03%OG (CP-III-0,03%OG) e 0,05%OG (CP-III-0,05%OG), por massa de cimento. Foram realizados ensaio de calorimetria nas amostras.

A pesquisa constou ensaios de caracterização sobre óxido de grafeno para investigação de sua dispersão. Em vista disso, foi obtido a análise termogravimétrica (TGA) e microscopia eletrônica de transmissão (MET). A Figura 11, evidência o ensaio de TGA, onde OG perde até 40% de sua massa quando aquecida a uma temperatura de 400°C. Quando aquecida a 543°C, a amostra de OG passa em parte para estado gasoso. Sendo a razão de aquecimento da amostra de 5°C/min. O ensaio de MET visou em depósitos de solução de OG em grades de cobre/carbono, nisto constatou escalas de magnitude de 5 µm, (Figura 11a) e 10 nm (Figura 11b) na folha de OG. Na escala 5 µm foi possível observar na amostra faixas na cor preta/cinza, e “bolhas”, elas são as grades de cobre carbono.

Figura 11 – Microscopia eletrônica de transmissão (MET), obtida pela deposição da dispersão de OG em grades de cobre/ carbono. Escalas de magnitude de 5µm (a) e 10 nm (b).



Fonte: Horta et al. (2022).

Acerca do ensaio de calorimetria semi-adiabática diferencial realizadas nos espécimes, são feitas medições da variação de temperatura de três réplicas, como também medições em

uma amostra inerte (preenchida com areia) e uma amostra ambiente (preenchida com ar). O tempo de duração de ensaio foi de 72 horas e ocorreu em uma sala climatizada com temperatura de 20°C (± 2 °C) e umidade relativa do ar de 30% ($\pm 20\%$). Com os resultados dos ensaios foram gerados gráficos de saída que representam a diferença entre o fluxo de calor das amostras com pasta de cimento e da amostra inerte ao longo do ensaio, a curva de evolução do calor de hidratação de referência foi determinada pela curva que se assemelha ao comportamento médio das três réplicas, desse jeito auxiliaram para conclusões acerca do tema.

Portanto, a partir do ensaio de calorimetria, foram observados a elevação no pico de temperatura registrado para pastas de cimento com adição de OG e a diminuição do tempo de pico. Com isso, evidenciando que OG realmente interfere na cinética da reação de hidratação do cimento, pois ele acelera a pega devido ao pH ácido da solução OG e decorrente da adsorção de moléculas de água e componentes do cimento.

Além do mais, o calor acumulado das pastas de cimento com adição de OG foi registrado superior nas primeiras 24 horas de hidratação em relação ao espécime de referência. Por outro lado, após 72 horas o calor acumulado médio de hidratação é estatisticamente igual para os teores analisados.

Em relação aos perfis térmicos do CP-III-0,03% e do CP-III-0,05% OG, são muito semelhantes. Dessa forma, é possível que uma quantidade pequena de OG não tem influência significativa para intensificar a cinética da reação de hidratação de cimento.

Horta *et al.* (2021)

Os autores apresentaram um estudo experimental de pastas de cimento com adição de óxido de grafeno (OG), sem o uso de aditivos plastificantes, com o intuito de analisar a existência de interferência do OG no comportamento reológico da mistura. Os materiais utilizados na pesquisa foram o cimento CP-III-RS-40 (cimento com 35-70 % de adição de escória de alto forno) e CP-V-ARI (cimento puro de alta resistência inicial), solução de óxido de grafeno, sintetizada a partir do grafite.

Foram realizados ensaios de microscopia eletrônica de transmissão (MET), escalas de magnitude de 5 μ m e 10nm, a fim de analisar a solução de OG em grades de cobre/carbono. Através disso, foi observado a estrutura bidimensional das folhas de óxido de grafeno e faixas na cor preta/cinza.

Perante o exposto, as argamassas continham teores de 0,03% e 0,05% de óxido de grafeno, nos espécimes com cimento de classes CP-III e CP-V. Foram preparados três teores distintos de nanomaterial: (i) referência (sem OG), (ii) acréscimo de OG na proporção de 0,03% da massa de cimento e (iii) acréscimo de OG na proporção de 0,05% da massa de cimento, e usada uma relação água/cimento fixa de 0,5. Dados da composição das pastas, conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Composição das pastas de cimento utilizadas nos experimentos.

Argamassa	Cimento (Kg)	Solução de OG 5,0g/L (mL)	Água (Kg)
CP-III-REF	720	0	360
CP-III-0,03%OG	720	43,20	316,80
CP-III-0,05%OG	720	72	288
CP-V-REF	720	0	360
CP-V-0,03%OG	720	43,20	316,80
CP-V-0,05%OG	720	72	288

Fonte: Horta et al. (2021).

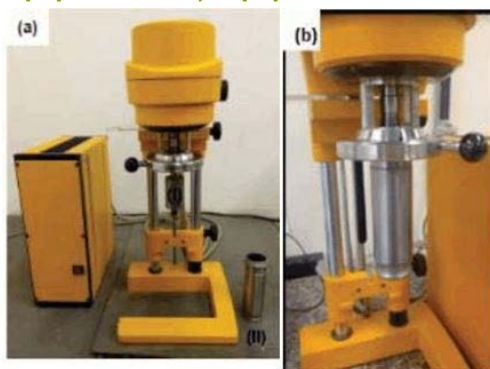
Foram utilizados dois métodos de análise, o *mini-slump* (Figura 12) e a reometria rotacional de fluxo (Figura 13). Os resultados do experimento utilizando o método de *mini-slump* podem ser observados na Tabela 4 e os resultados referentes ao ensaio da técnica reometria rotacional de fluxo, obtidos a partir de curvas de fluxo ajustadas pelo modelo de Bingham modificado, podem ser consultados nas Tabelas 5 e 6.

Diante do contexto anterior, foi evidenciado do ensaio de *mini-slump*, ocorre a diminuição do raio de espalhamento de 42,94% (CP- III) e 23,34% (CP-V) comparando com amostras de referência, considerando a adição de 0,05% OG, considerando adição de 0,03% foi reduzido o raio de espalhamento de 20,87% (CP-III) e de 17,43% (CP-V) em relação às amostras de referência. A técnica reometria rotacional de fluxo, para percentual de 0,05% OG de adição, acarretou na elevação na viscosidade, no CP-III e no CP-V, de 125,49%, 31,51%, respectivamente e com percentual de 0,03% OG, a elevação foi de 60,78% (CP-III) e 4,70% (CP-V). Além do mais, proporcionou aumento no limite de escoamento, de 82,24% (CP-III) e 38,87% (CP-V) com adição de 0,05% OG, e com 0,03% aumento de 49,77% (CP-III) e 29,20% (CP-V). Diante disso, ficou claro que ocorre modificações no comportamento reológico dos materiais cimentícios mesmo com teores baixos de adição de OG (0,03% e 0,05%).

Figura 12 – Ensaio mini-slump.

Fonte: Horta et al. (2021).

Figura 12 – Equipamento para ensaio Reometria rotacional de fluxo. (a) Detalhes do equipamento. b) Equipamento montado



Fonte: Horta et al. (2021).

Em resumo, foi notado que ambas as técnicas utilizadas supriram bem o objetivo de determinar a influência da adoção de OG sobre reologia das pastas de cimento. Sendo observados que com o aumento na viscosidade da pasta ocorre aumento da porção de OG incorporado na mistura. A principal diferença entre os métodos está relacionada a qualidade dos resultados compreendidos. Enquanto a técnica reometria rotacional de fluxo utiliza de meios mais avançados, gerando um relatório de resultado mais completo e preciso, o método de *mini-slump* se destaca por permitir a visualização dos efeitos das adições sobre a fluidez e a consistência das pastas de cimento.

Tabela 4 – Resultados do ensaio de *mini-slump*.

Argamassas	REF ¹		0,03%OG		0,05%OG	
	CP-III	CP-V	CP-III	CP-V	CP-III	CP-V
Raio médio de espalhamento (mm)	44,92	29,63	35,54	24,46	25,63	22,71
Desvio padrão (mm)	0,95	2,08	3,05	1,38	0,5	0,92
Coefficiente de variação (%)	2,11	7,02	8,57	5,65	1,95	4,05
Varição em relação à REF (%)	NA ²	NA ²	-20,87	-17,43	-42,94	-23,34

¹REF: pasta de cimento de referência. ²NA: não se aplica.
Fonte: Horta et al. (2021).

Tabela 5 – Viscosidade plástica (μ) e dados estatísticos correspondentes.

Argamassas	REF ¹		0,03%OG		0,05%OG	
	CP-III	CP-V	CP-III	CP-V	CP-III	CP-V
Viscosidade plástica - μ (Pa.s)	0,17	0,49	0,27	0,51	0,38	0,64
Desvio padrão	0,01	0,07	0,02	0,06	0,06	0,06
Coefficiente de variação (%)	5,88	13,99	8,45	11,76	15,06	9,38
Varição em relação à REF (%)	NA ²	NA ²	60,78	4,70	125,49	- 31,51

¹REF: pasta de cimento de referência. ²NA: não se aplica.
Fonte: Horta et al. (2021).

Tabela 6 – Limite de escoamento (τ_0) e dados estatísticos correspondentes, referentes às curvas de fluxo ajustadas pelo modelo de Bingham modificado.

Argamassas	REF ¹		0,03%OG		0,05%OG	
	CP-III	CP-V	CP-III	CP-V	CP-III	CP-V
Limite de escoamento - τ_0 (Pa)	15,62	28,76	23,39	37,16	28,47	39,94
Desvio padrão	0,89	2,51	0,94	1,59	3,65	3,71
Coefficiente de variação (%)	5,72	8,74	4,01	4,29	12,82	9,28
Variação em relação à REF (%)	NA ²	NA ²	49,77	29,20	82,24	38,87

¹REF: pasta de cimento de referência. ²NA: não se aplica.

Fonte: Horta *et al.* (2021).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das pesquisas analisadas no desenvolver deste estudo, foi possível observar a influência da incorporação do GO na matriz cimentícia em certos casos. Resumidamente, as seguintes conclusões podem ser feitas:

A adição de GO ou grafite expansível na proporção de 0,23% em relação à massa de cimento eleva a resistência de compressão axial da mostra cimentícia. Sendo o aumento superior nos espécimes com adição de grafite expansível (0,23%) em todos os períodos de ensaio (7, 14, 28 dias).

- A adição de SA, no estado fresco reduziu o espalhamento das argamassas com óxido grafeno. No estado endurecido, a adição de grafeno apresentou em suma, excerto o módulo de elasticidade, resultados semelhantes a mistura de referência (sem adição de óxido de grafeno), todavia as misturas associadas com partículas de grafeno com SA apresentaram reduções (aos 07 e 28 dias na absorção) e aumentos significativos e aumentos (aos 14 e 28 dias na resistividade elétrica superficial). Os resultados indicam que a incorporação destes materiais em argamassas eleva as propriedades relacionadas a durabilidade.
- Por meio do ensaio de calorimetria, ficou evidente que o nanomaterial incorporado na argamassa de cimento altera a cinética da reação de hidratação do cimento, pois ocasiona a aceleração de pega e adsorção de moléculas de água e componentes do cimento. Além disso, observa-se que ao elevar a proporção de OG para intensificar a cinética da reação de hidratação do cimento não ocasionou em incrementos significativos.
- Enfim, ficou claro que mesmo em proporções de adição de OG (0,03% e 0,05%) baixos, modifica o comportamento reológico dos materiais cimentícios. No entanto, as alterações foram maiores quando o teor de adição de OG foi maior (0,05%).

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, E. C. *et al.* Influência da incorporação de grafeno e sílica ativa nas propriedades físicas e de durabilidade de argamassas cimentícias.

BARBOSA, D. F. Influência do óxido de grafeno em argamassas de cal hidráulica natural. Dissertação

(Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia civil. Universidade Nova Lisboa, 2015.

CHEN, B. *et al.* Cement-based material modified by in-situ polymerization: From experiments to molecular dynamics investigation. *Composites Part B-engineering*, v. 194, p. 108036–108036, 1 ago. 2020.

CHUAH, S.; PAN, Z.; SANJAYAN, J. G.; WANG, C. M.; DUAN, W. H. Nano reinforced cement and concrete composites and new perspective from graphene oxide. *Construction and Building Materials*, v. 73, p. 113-124, 2014.

GONG, K. *et al.* Reinforcing Effects of Graphene Oxide on Portland Cement Paste. *Journal of Materials in Civil Engineering*, v. 27, n. 2, fev. 2015.

HORTA, R. A. DOS S.; DE PAULA, J. N.; CALIXTO, J. M. F. Avaliação do perfil térmico e calor de hidratação de pastas de cimento com adição de óxido de grafeno. *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 27, p. e20220151, 19 set. 2022.

HORTA, R.A.S. *et al.* Avaliação do comportamento reológico de pastas de cimento com adição de óxido de grafeno. *Matéria (Rio J.)*, v. 26, n. 3, e13013, 2021.

JIANG, R. S.; WANG, B. M. Mechanical Properties and Microstructure of Graphene-Cement Composites. *Key Engineering Materials*, v. 748, p. 295–300, ago. 2017.

JIMÉNEZ-SUÁREZ, A.; PROLONGO, S. G. Graphene Nanoplatelets. *Applied Sciences*, v. 10, n. 5, p. 1753, 4 mar. 2020.

BRESLER, B.; SCORDELIS, A. C. Shear strength reinforced concrete beams. *ACI Journal*, v. 60, n. 1, p. 51-72, 1963.

LI, X. *et al.* Effects of graphene oxide agglomerates on workability, hydration, microstructure and compressive strength of cement paste. *Construction and Building Materials*, v. 145, p. 402–410, ago. 2017.

LI, X. *et al.* Effects of graphene oxide aggregates on hydration degree, sorptivity, and tensile splitting strength of cement paste. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, v. 100, p. 1–8, set. 2017.4.

MARQUES, J. D. P. Incorporação de óxido de grafeno e sua influência no comportamento mecânico de compósito de matriz cimentícia. *Revista Tecnologia e Sociedade*, v. 18, n. 54, p. 275-293, 2022.

NASIBULIN, A. G. *et al.* A novel approach to composite preparation by direct synthesis of carbon nanomaterial on matrix or filler particles. *Acta Materialia*, v. 61, n. 6, p. 1862–1871, abr. 2013.

ZHANG, D. H. *et al.* Effect of microbially induced calcite precipitation treatment on the bonding properties of steel fiber in ultra-high performance concrete. *Journal of building engineering*, v. 50, p. 104132–104132, 1 jan. 2022.



Material fresado como solução alternativa para pavimentação na cidade de Porto Velho-RO

Alex Gomes Pereira
Abmael Furtado Oliveira
Gabriel Melgar Roca
Alan Jackson Andrade da Silva Bezerra
Leandro Luiz Benedix Rodrigues
Angelo Máximo Gima Paz
Odair José Brito de Oliveira
Ádison Gonçalves de Oliveira
Josenildo da Silva Santos
Armando Fernandes Gomes Delfino

DOI: 10.47573/ayd.5379.2.190.3

RESUMO

O presente estudo aborda a avaliação do potencial emprego de RAP como material estabilizante de um solo argiloso. Para isso, foram estudadas três amostras de solo, solo original, solo estabilizado com 10% de RAP e solo estabilizado com 20% de RAP. O programa laboratorial incluiu ensaios de análise granulométrica, limites de consistência, compactação e CBR. Os resultados dos ensaios de compactação demonstraram que a adição tanto RAP provoca um aumento da massa específica aparente seca máxima do solo e diminuição da umidade ótima. Já os ensaios de CBR, as amostras estabilizadas com RAP exibiram um aumento da capacidade de suporte da mistura, quando comparado ao solo original.

Palavras-chave: solo estabilizado. RAP. CBR.

ABSTRACT

This study addresses the evaluation of the potential use of RAP as a stabilizing material for a clayey soil. For this, three soil samples were studied, original soil, stabilized soil with 10% RAP and stabilized soil with 20% RAP. The laboratory program included granulometric analysis, consistency limits, compaction and CBR tests. The results of the compaction tests demonstrated that the addition of both RAP causes an increase in the maximum apparent dry mass of the soil and a decrease in the optimum moisture content. As for the CBR tests, the samples stabilized with RAP showed an increase in the support capacity of the mixture, when compared to the original soil.

Keywords: stabilized soil. RAP. CBR.

INTRODUÇÃO

De acordo com Souza *et al.* (2004) a construção civil têm sido motivo de discussões quanto à necessidade de se buscar o desenvolvimento sustentável por identificar-se como grande consumidora de matérias-primas e geradora de uma elevada quantidade de resíduos sólidos (RS). Ao mesmo tempo, percebe-se que a necessidade de construir novos pavimentos com um custo reduzido vem sendo uma preocupação ambiental da sociedade.

Sendo assim, é de grande importância o estudo de novas tecnologias, fundamentalmente no ramo de pavimentos, visto que essa subárea da construção civil causa diversos danos ao meio ambiente, pois além de ser grande consumidora de materiais extraídos da natureza, a extração e beneficiamento dos recursos naturais que são empregados em sua cadeia de produção podem causar problemas como poluição de rios, com a extração inadequada de materiais, e diminuição da camada de ozônio, devido à grande produção de dióxido de carbono (CO₂).

Entre as novas técnicas estudadas, destaca-se a utilização dos resíduos sólidos (RS), em especial os pavimentos asfálticos recuperados (*recycled asphalt pavement* - RAP). A reciclagem e o aproveitamento de RAP se valorizam como opção atendendo os novos conceitos de materiais reutilizáveis, ao invés de somente despejá-los em aterros ou na natureza.

Deste modo, o presente trabalho busca analisar por meio de ensaios laboratoriais, o desempenho de misturas de solo com material fresado, visando aplicação em obras rodoviárias.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Solo

O solo é compreendido sob as classificações geológicas e mineralógicas, granulométricas, além das suas propriedades físico-químicas nelas atribuídas. Ademais, esse material é possível ser entendido mediante diversas perspectivas a serem analisadas, em conformidade com o entendimento ao que se estuda na engenharia, geologia e no que tem relação a sua origem (BERTÉ, 2012).

Os solos, de forma geral, advêm da desagregação de rochas que representavam, primitivamente, a crosta terrestre. Os agentes químicos e físicos são os principais causadores da decomposição das rochas para a geração de determinado tipo de solo. Além disso, os causadores de deformações nas rochas decorrem das alterações na temperatura, nas quais, por meio da água, afetam quimicamente os minerais envolvidos na composição. A implicação da água nessas deformações, entre outros aspectos físicos, desempenha altas tensões, em que sucede elevada divisão significativa nos blocos. (PINTO, 2000),

O sistema unificado de classificação de solos (SUCS) foi elaborado pelo engenheiro e professor Arthur Casagrande. Esse sistema, no que se refere, é, atualmente, bastante utilizado, principalmente, na área de barragens de terra, e que, em conformidade com o engenheiro Terzaghi (1973), mostra-nos que os solos se distribuem em três grandes grupos específicos:

- Granulometria grossa;
- Granulometria fina; e
- Solos orgânicos.

Além disso, os solos possuem classificações, em que, a primeira letra corresponde a principal categoria de solo e a letra seguinte, configura a caracterização desse tipo. (MARINHO, 2020):

- Pedregulhos (G);
- Areias (S);
- Siltes inorgânicos e areias finas (M);
- Argilas inorgânicas (C);
- Solo orgânico (O);
- Bem graduado (W);
- Mal graduado (P);
- Alta compressibilidade (H);

- Baixa compressibilidade (L); e
- Turfas (Pt).

Para otimização do solo, por meio da utilização de métodos mais adotados no Brasil, busca-se a aplicação de cimento e cal, na execução das camadas de sub-base e base, ao qual se alicerça a parte fundamental dos pavimentos asfálticos. Diante disso, entende-se que esse suporte desenvolve a função de resistência aos efeitos causados pelo tráfego de veículos de diferentes eixos, diante do pavimento de rolagem (PARENTE, 2002; SENÇO, 2001).

Já, na compreensão de Vargas (1977), o solo serve de apoio, sendo parte fundamental em qualquer obra na engenharia civil, servindo como suporte, pois trata-se de um material extraído da crosta terrestre. Por isso, leva-se em consideração que o solo pode ser assentado para construções de edificações, compactado para vias, perfurado para túneis ou fundações, escavado para estudos laborais ou construções diversas, entre outras funcionalidades. Para remoção, não se apresenta grandes dificuldades em uma escavação mecânica, visto que o material possui baixa resistência, podendo ser retirado o material por meio de ferramentas ou maquinários específicos como a pá ou escavadeira, não havendo a necessidade de explosões ou sistemas complexos e perigosos para extração. Vale ressaltar que, em contato intenso e a longo prazo com a água, conseqüentemente, acarretará na perda total de sua resistência.

O solo pode ser tratado com misturas de agregados, que, mediante estudos específicos laboratoriais, que pode ser analisado um bom desempenho em suas características estruturais, mostrando uma resistência e rigidez mais favorável, em relação ao seu estado natural de origem, como matéria prima (SPECHT, 2000).

Estabilização ou melhoramento de solos

Segundo Houben e Guillaud (1994), o processo de estabilização do solo está atribuído a todo procedimento, de forma inalterada ou sintetizada, ou seja, natural ou artificial, em que, o efeito de cargas aplicadas no solo, resulta-se em um solo de alta qualidade e desempenho, com maior resistência sob efeito de desfiguração ou deformação e, também, ao seu deslocamento do que o solo originário. Por essa razão, nesse tal procedimento, é notório entender que, por meio desse método mais flexível, o solo oferecerá melhorias na sua capacidade de pavimentação, gerando economia em certas logísticas e poupando recursos, fazendo com que as características no solo modificado no sistema básico de composição com a água e o ar, proporcionem a finalidade de preparação para procedimentos posteriores compatíveis com uma aplicação exclusiva, obtendo propriedades de durabilidade.

Já, em concordância com Pitta (1997), o processo de estabilização de um solo natural é poder contar com a preparação deste para que esteja disposto a receber resistência ao cisalhamento e ao desgaste na fricção, com o propósito de que seja eficiente para sujeitar-se a cargas ou agentes externos, com menor número de registro de deformações possíveis ou problemáticas na obra e com capacidade de suportar toda e qualquer condição climática.

Os obstáculos enfrentados na pavimentação, antigamente, estavam fortemente relacionados a falta de qualidade no solo, para ser impostas nas obras rodoviárias, e as mais importantes e, normalmente, as mais usuais medidas a serem consideradas e aplicadas eram, primeiramente: a retirada do material natural e mudança por outro substituível, porém, com a

adição essencial nas propriedades e mecanismos peculiares que fornecerá elevar na qualidade conveniente ao empreendimento; e, no segundo plano, busca-se evitar territórios com solo que não é adequado ou apresente um material que dependerá de grandes recursos para substituição e otimização do terreno problemático. Sendo assim, analisar o ambiente para que se possa adequar o projeto para um local conciliável (LAMBE E WHITMAN, 1969).

A estabilização do solo, conforme Medina e Motta (2005), é o procedimento a que se sujeita um solo para aumento do desempenho no serviço, no quesito de seus aspectos para resistência, tais como na redução do seu volume quando está submetido a pressão em diversas partes, o aprimoramento de sua capacidade resistir melhor ao cisalhamento e o seu comportamento em práticas relacionadas à permeabilidade. Os mais significativos e conhecidos métodos de estabilização de solo referem-se a:

- a) Estabilização mecânica: garante estabilidade, excluindo a possibilidade de combinação junto de aditivos. Desse modo, as características do solo são capazes de serem aperfeiçoadas por meio de técnicas de compactação e/ou drenagem, reforçando que este procedimento é aplicado em combinação com outros métodos ensaiados, visto que, é comum analisar, em diversos ensaios, a compactação do solo se mostra fundamental e é indispensável;
- b) Estabilização granulométrica: os estudos laborais demonstram que, existe, nesse processo de estabilização, a combinação de solos de classificações distintas, com o intuito de reparar erros na granulometria do solo;
- c) Estabilização química: em que a estabilização consiste na obtenção pelas reações químicas como as misturas de bases de cimentos pozolânicos, aglomerantes e de carbonatação.

Resíduo Sólidos

De acordo com John e Agopyan (2000), a utilização de agregados reciclados esteja estabelecida no Brasil. Apesar de existirem casos de aplicação desse tipo de material na construção de pavimentos, e seus resultados serem satisfatórios no seu desempenho, não há norma específica e consolidada que possa estar acessível a todos. No entanto, mesmo que se possa verificar sua aplicabilidade exequível aos quesitos exigidos nas especificações técnicas, e o seu uso em diversas regiões, no que afirma Carneiro *et al.* (2001), ainda se percebe algumas alternâncias relevantes, em decorrência da sua utilização em pavimentos, necessitando, assim, de estudos mais aprofundados na região em que é concentrado a execução desse serviço.

Ao se analisar uma das maiores geradoras de resíduos, nota-se que o operador dessas produções está na construção civil, e, por esse motivo, deve-se procurar meios em que esses resíduos possam ser reutilizados ou reaproveitados dentro da mesma construtora ou empresa que aproveite esse material da melhor forma. Conforme afirma Horvath (2004), países da Europa como a Finlândia, Alemanha, Austrália, Holanda, além da grande potência norte-americana, os Estados Unidos, de grandes resíduos sólidos produzidos, cerca de um terço desses materiais são em decorrência de sedimentos da construção e destruições realizadas. Já no território nacional brasileiro, o percentual chega a cerca de 50% de todos os resíduos da construção (SPOSTO, 2006).

Conforme está estabelecido na EPA (2000), é possível analisar que diante das vantagens na utilização de resíduos da construção, destacam-se:

- a) Diminuição dos efeitos ao meio ambiente, no que diz respeito a exploração dos recursos naturais, na transportação do material e no produto se misturam na composição, mediante ao processamento dos materiais da pavimentação;
- b) Baixo custo aos projetos em que se oportuniza a acessibilidade abundante de resíduos, além da aquisição de produtos novos;
- c) Passa uma boa imagem da empresa a sociedade e gerir o acúmulo desses resíduos; e
- d) Preservação de locais em que seriam direcionados aos resíduos ou, até, à disposição para outros materiais não recicláveis.

Misturas produzidas com RAP

Segundo Bernucci *et al.* (2007), as misturas utilizadas na pavimentação para o emprego em camadas de revestimento asfáltico precisam atender a certos parâmetros, com intuito de alcançar um desempenho satisfatório. Ao se determinar o teor de ligante projetado, é preciso que este atinja o tipo de dosagem desejada, a qual deve ser trabalhada, conforme as normativas estabelecem. Dessa forma, respeitando as medidas de compactação aplicada ao solo, composição com outro material para melhor desempenho, sensação térmica em que o pavimento será designado, além de outros.

A NBR 15114 (Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 2004) determina que o resíduo utilizado, em sua reciclagem, é o agregado granulométrico originário do melhoramento de resíduos de obra de pavimentação, que mostram critérios técnicos para o emprego em construções civis, tais como nos imóveis, em residenciais na infraestrutura, de obras sanitárias ou outros projetos da área.

METODOLOGIA

Materiais Utilizados

Solo

As amostras de solo utilizadas no estudo foram coletadas na rua anel viário de Porto Velho, Rondônia (RO). A Figura 1 mostra o processo de coleta das amostras de solo.

Figura 1 - Coleta das amostras de solo.



Fonte: Autores (2023).

Caracterização do solo

Para determinação das características geotécnicas das amostras de solo, foram empregados os ensaios convencionais de caracterização física do solo, sendo realizados de acordo com a metodologia descrita nas normas dos órgãos Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) e ABNT. Os testes de caracterização são descritos a seguir:

- a) ME 080: Solos – análise granulométrica por peneiramento (DNER, 1994);
- b) ME 082: Solos – determinação do limite de plasticidade (LP) (DNER, 1994);
- c) ME 122: Solos – determinação do limite de liquidez (LL) (DNER, 1994); e
- d) ME 129: Solos – compactação utilizando amostras não trabalhadas (DNER, 1994).

Quanto a classificação geotécnica o solo será classificado a SUCS, segundo a norma técnica D2487-17 (*American Society for Testing and Materials - ASTM, 2017*), e *Transportation Research Board (TRB)*, sob a norma técnica M145-91 (*American Association of State Highway and Transportation Officials - AASHTO, 2008*).

RAP

O RCC utilizado para estabilização do solo foi obtido da camada de rolamento da Rua Tenreiro Aranha, que foi parte integrante de um projeto de obras de pavimentação e qualificação em vias urbanas cidade de Porto Velho/RO desenvolvido sob a responsabilidade da Secretaria Municipal de Obras e Pavimentação (SEMOB).

Dosagem

Experimentalmente, o comportamento de um solo para três configurações distintas: configuração convencional (*solo in natura*), sem a presença do aditivo, solo com 10% de RAP e solo com 20% de RAP, conforme mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Dosagens das misturas.



Fonte: Autores (2023).

As características geotécnicas do solo, segundo as normas nacionais, estão discriminadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades Físicas.

Ensaio		Mistura		
		Solo natural	Solo + 10% de RAP	Solo + 20% de RAP
Granulometria % em peso passando	2	100,0	100,0	100,0
	1 ^{1/2}	100,0	100,0	100,0
	1	100,0	100,0	98,4
	3/4	100,0	99,3	96,7
	3/8	100,0	96,5	89,5
	4	100,0	92,8	81,1
	10	100,0	79,5	64,8
	40	67,2	66,0	43,3
	200	43,5	54,9	38,6
Índices Físicos	LL	33,9	25,4	29,5
	IP	21,3	13,8	12,4
Class. Unif. (SUCS)				
Índice de Grupo		4	4	1
Classificação TRB		A-6	A-6	A-6

Fonte: Autores (2023).

Ensaio Mecânicos

Índice de Suporte Califórnia (CBR) e Expansão

Para a execução dos ensaios de CBR e expansão, os corpos de prova foram moldados em seus respectivos parâmetros ótimos de compactação, na energia Proctor modificada, sendo moldado 5 corpos de prova para cada mistura, com dimensões de aproximadamente 152mm de diâmetro e 125mm de altura, conforme é determinado pela norma ME 172 (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT, 2016).

Finalizada a etapa de moldagem, os corpos de prova foram submetidos ao processo de imersão em água por 4 dias, sendo realizado leituras no extensômetro a cada 24 horas para o cálculo de expansão. Em seguida, os corpos de provas serão submetidos à carga (Figura 3).

Figura 3 - Ensaio de CBR.

Fonte: Autores (2023).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Parâmetros de compactação

Os resultados do ensaio de compactação submetidos à energia modificada podem ser verificados na Tabela 2, onde pode-se confrontar os resultados dos corpos de prova com adições de RAP obtidos pelos autores desta pesquisa aos resultados de solo original.

Tabela 2 - Compactação.

Material	Umidade ótima	Massa específica aparente seca máxima
Solo natural	18,4%	1.789kg/cm ³
Solo + 10% de RAP	13,6%	1.960kg/cm ³
Solo + 20% de RAP	12,6%	2.005kg/cm ³

Fonte: Autores (2023).

A partir dos dados mostrados na Tabela 2, verifica-se que a adição RAP leva a um aumento da massa específica aparente seca máxima da mistura e diminuição da umidade ótima. Além disso, observa-se que um acréscimo no teor de RAP resulta em resultados mais expressivos, dado que quanto maior for a porcentagem de material fresado no solo, menor será umidade do solo, por consequência, maior a massa específica aparente seca máxima. Os resultados obtidos estão de acordo com a literatura especializada e campo (SENÇO, 2001; CASTRO *et al.*, 2019). Destaca-se que, após a determinação dos parâmetros de compactação das amostras de solo, procedeu-se à moldagem dos corpos de prova com o controle do grau de compactação. Este parâmetro exerce fundamental importância nos ensaios com amostras de solos deformadas, uma vez que os corpos de prova devem apresentar peso específico próximos aqueles determinados nos ensaios de compactação (CASTRO *et al.*, 2019).

CBR e expansão

A Tabela 3 mostra os resultados dos ensaios de CBR e expansão para as amostras de solos estudados.

Tabela 3 - Propriedades Físicas

Material	Expansão (%)	CBR (%)
Solo natural	0,16	12,7
Solo + 10% de RAP	0,09	53,1
Solo + 20% de RAP	0,10	63,3

Fonte: Autores (2023).

Por meio da Tabela 3, verifica-se que as misturas com adição de RAP obtiveram valores de CBR superiores ao valor alcançado pelo solo original. Em valores percentuais, os aumentos para as amostras com 10% e 20% de RAP foram de 318,11% e 398,43%, respectivamente, quando comparado ao solo original. O aumento da capacidade de suporte é explicado pela adição do material fresado que atua aumentando a massa específica aparente seca máxima do solo e, conseqüentemente, a capacidade de suporte do solo.

Referente a expansão, pode-se observar que todas as misturas estabilizadas com RAP apresentaram diminuição deste parâmetro quando confrontadas com o solo in natura. De acordo

com o DNIT (2006), baixos valores de expansão caracterizam solos de baixa variação volumétrica quando em imersão, o que resulta em solos de boa aplicabilidade para emprego em camadas de rodovia. Ainda conforme o DNIT (2006) os limites máximos de expansão para as camadas do pavimento, são 2% para solos usados em subleito, 1% para materiais de reforço de subleito e sub-base e 0,5% para materiais de base.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com o programa experimental e as análises dos resultados, pode-se concluir que:

- a) Com relação aos parâmetros de compactação (umidade ótima e massa específica aparente seca máxima), constatou-se que os solos estabilizados com RAP apresentaram redução da umidade ótima e aumento da massa específica aparente seca máxima. Resultados que estão em concordância com a literatura e campo.
- b) Para os resultados de CBR, notou-se uma melhora significativa com a adição do material fresado no solo, e redução da expansão.

De forma geral, os resultados finais demonstram ser adequada a utilização do RAP como material estabilizante de solo. Conforme pode-se observar, o resíduo em questão agiu como reforço, aumentando a capacidade de suporte do solo estudado.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15114: Resíduos sólidos da construção civil – áreas de reciclagem – diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO). AASHTO M 145 - 91: Standard Specification for Classification of Soil sand Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C., 9p., 2008.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS (ASTM). ASTM D2487: Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). USA, 2017.

BERNUCCI, L.B., MOTTA, L.M.G., CERATTI, J.A.P.; SOARES, J.B. Pavimentação Asfáltica – Formação Básica para Engenheiros. 1. ed. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2007.

BERTÉ, S.D.D., Otimização e estudo do comportamento do solo-cimento auto-adensável. Ilha Solteira: [s.n.], 2012.

CASTRO, C. E. N.; SILVA, R. R. F.; SANTOS, L. F.; MENDES, A. S.; LIMA, C. A. P.; FROTA, C. A. Comportamento mecânico de solo argiloso estabilizado com resíduo de vidro pulverizado em moinho de alta energia e de bolas. *Matéria*, v. 24, n. 2, p. e12356, 2019.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES (CNT). Pesquisa rodoviária 2021: relatório gerencial. Brasília: In: Confederação Nacional do Transporte, 2021.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). DNER-ME 080/94: Solos - análise granulométrica por peneiramento. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). DNER-ME 082/94: Solos - determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). DNER-ME 122/94: Solos – determinação do limite de liquidez – método de referência e método expedito. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE (DNIT). Manual de pavimentação. 3 ed. Rio de Janeiro, 274 p., 2006.

EPA - United States Environmental Agency. Building savings: Strategies for waste reduction of construction and demolition debris from buildings. 2000.

Escola de Engenharia de São Carlos Universidade de São Paulo. São Carlos. 2002.

HORVATH, A. Construction materials and the environmental. Annual Review of Environment and Resources. California, 2004

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Estimativas da população residente no Brasil e Unidades da Federação com data de referência em 1º de julho de 2021. Disponível em www.ibge.gov.br. Acesso em 25 janeiro de 2022.

HOUBEN, H., & GUILLAUD, H. (1994). Earth Construction: A Comprehensive Guide. Southampton Row, London: Intermediate Technology Publications. p. 73 Janeiro, RJ, 7 p. Disponível em <http://www.ufsm.br/engcivil/Material_Didatico/TRP1002_Mat_para_infraestrutura_de_transp/normas_e_material_complem/Material_Estabilizado_Granulometricamente_Base.pdf>. Acesso em 03 novembro de. 2022

John, V. M., Agopyan, V. (2000). Reciclagem de resíduos da construção. Seminário – Reciclagem de Resíduos Sólidos Domiciliares, SEMA, CETESB, São Paulo, SP, 13 p.

LAMBE, T. William; WHITMAN, Robert V. Soil Mechanics. New York: J. Wiley, c1969. 553 p. ISBN 0-471-51192-7

MARINHO, F. Classificação dos solos. Guia da Engenharia. 2020. Disponível em: <www.guiadaengenharia.com/classificacao-solos/>. Acesso em 18 de novembro de 2022.

MEDINA, J. e MOTTA, L.M.G. Mecânica dos Pavimentos. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 2005.

PARENTE, E. B. Avaliação do comportamento mecânico das misturas de solo cimento e fosfogesso e cimento para uso na construção rodoviária. Dissertação Escola de Engenharia de São Carlos Universidade de São Paulo. São Carlos. 2002. 90 Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18137/tde-05052016-091724/pt-br.php>>. Acesso em: 27/10/2022.

PARENTE, E. B. Avaliação do comportamento mecânico das misturas de solo cimento e fosfogesso e cimento para uso na construção rodoviária. Dissertação

PINTO, C. de S. Curso Básico de Mecânica dos Solos. São Paulo, 2000.

PITTA, M. R. (1997). “Pequeno Histórico da Estabilização de Solos com Cimento” ABPv. Boletim Informativo, nº 158 maio/junho.

SENÇO, W. Manual de técnicas de pavimentação. Volume I, 1 ed. Ed. PINI, São Paulo, SP. 1997. 746 p.

SENÇO, W. Manual de técnicas de pavimentação. Volume II, 2 ed. Ed. PINI, São Paulo, SP. 2001. 671 p.

SILVA, J. P. S.; FARIAS, M. M. Estudo dos efeitos de produtos rejuvenescedores no comportamento físico, químico e reológico de ligante asfáltico envelhecido. Transportes, v. 28, p. 91-102, 2020.

SOUZA, U. E. L.; PALIARI, J. C.; AGOPYAN, V. ANDRADE, A. C. Diagnóstico e combate à geração de resíduos na produção de obras de construção de edifícios: uma abordagem progressiva. Revista Ambiente Construído, v. 4, n. 4, p. 33-46, 2004.

SPECHT, L. P. Comportamento de Misturas Solo-Simento-Fibra Submetidas a Carregamentos Estáticos e Dinâmicos Visando a Pavimentação. (Dissertação). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

SPOSTO, R.M. Os resíduos da construção: Problema ou solução? Revista Espaço Acadêmico. No 61, ano VI, Junho de 2006.

TERZAGHI, K., Erdbaumechanick, Viena, Franz Deutcke, Áustria. 1925.

VARGAS, M. Introdução à mecânica dos solos. Ed. McGraw-Hill do Brasil Ltda, São Paulo, SP, 1977. 509 p.



Características físicas e químicas do solo de pastagens com diferentes manejos, Altamira-PA

Alexsandro Lima de Sousa Junior

Universidade Federal do Pará

Vivian Dielly da Silva Farias

Universidade Federal do Pará

Sandra Andrea Santos da Silva

Universidade Federal do Pará

Salim Jacauna de Souza Junior

Universidade Federal do Pará

Samia Cristina de Lima Lisboa

Universidade Federal do Pará

Breno da Silva Santos

Universidade Federal do Pará

Glendha Thalyssia Farias Sousa

Universidade Federal do Pará

Eduardo Souza Rosa

Universidade Federal do Pará

Deborah Evelyn Vieira Leite

Universidade Federal do Pará

DOI: 10.47573/ayd.5379.2.190.4

RESUMO

O manejo visa melhorar as características físicas e químicas do solo. O presente trabalho teve como objetivo avaliar as condições físicas e químicas do solo de pastagens com diferentes manejos. A área estudada possui 31,62 ha destinados para o pastejo de gado leiteiro, sendo 1,7 ha recuperados com aração, calcário e gradeamento (T1) 18,51 ha de pasto degradado com *Brachiaria Brizantha* cv (T2) e 11,41 ha de pasto em pousio a quatro anos (T3). Foram realizadas análises de amostras indeformadas em anéis de coleta nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm e amostras deformadas nos primeiros 20 cm para análise química de macro e micronutrientes e matéria orgânica. A pastagem em pousio apresentou melhor qualidade nas características físicas do solo, nas diferentes camadas avaliadas, diferente do pasto recuperado que apresentou melhora nas características físicas apenas na camada de 0-10 cm. Porém em todos os tratamentos avaliados o pH, saturação de alumínio e saturação de bases estavam abaixo do recomendado para pastagens, indicando que o manejo de recuperação com aplicação do calcário não foi suficiente para neutralizar o alumínio trocável e aumentar o V%. Os elementos fósforo, zinco, boro e sódio também mostraram teores baixos, indicando essa necessidade de cuidados com a nutrição mineral das pastagens. Estes resultados sugerem que os métodos de manejo do solo e de recuperação aplicados nas pastagens tiveram impacto significativo nas condições físicas e químicas do solo.

Palavras-chave: recuperação. atributos do solo. degradação.

ABSTRACT

The management aims to improve the physical and chemical characteristics of the soil. The present work aimed to evaluate the physical and chemical conditions of the soil of pastures with different managements. The studied area has 31.62 ha for dairy cattle grazing, of which 1.7 ha recovered with plowing, limestone and gridding (T1), 18.51 ha of degraded pasture with *Brachiaria Brizantha* cv (T2) and 11.41 ha of pasture in fallow four years (T3). Analysis of unformed samples in collection rings at depths of 0-10, 10-20, 20-30 and 30-40 cm and deformed samples in the first 20 cm for chemical analysis of macronutrients and micronutrients and organic matter were carried out. The fallow pasture presented better quality in the physical characteristics of the soil, in the different layers evaluated, different from the recovered pasture that presented improvement in the physical characteristics only in the layer of 0-10 cm. However, in all the evaluated treatments, the pH, aluminum saturation and base saturation were below the recommended for pastures, indicating that the recovery management with the application of limestone was not enough to neutralize the exchangeable aluminum and increase the V%. The phosphorus, zinc, boron and sodium elements also showed low contents, indicating the need for care with the mineral nutrition of the pastures. These results suggest that the methods of soil management and recovery applied in pastures have had a significant impact on the physical and chemical conditions of the soil.

Keywords: recovery. soil attributes. degradation.

INTRODUÇÃO

O elevado nível de degradação dos solos tem direcionado para adoção de práticas de manejo mais sustentáveis, as quais permitem conciliar a produção agropecuária com a preser-

vação do solo, da água e da biodiversidade (SILVA, RIBON, *et al.*, 2021).

Porém, na maior parte das propriedades dedicadas à pecuária no Brasil a exploração das pastagens ainda é feita com pouco ou nenhum uso de corretivos e fertilizantes, em sistemas com baixa carga animal. Esse tipo de manejo por longos períodos geralmente leva à diminuição da fertilidade do solo e à degradação das pastagens. Pois as gramíneas utilizadas em pastagens no Brasil, mesmo as mais rústicas, normalmente respondem bem à adição de nutrientes. Além disso, a fertilidade do solo é fundamental para garantir a estabilidade e eficiência do ecossistema de pastagem, além de também ser um dos recursos naturais não renováveis mais valioso e essencial para a segurança alimentar global (DIAS FILHO, 2021).

De acordo com Silva (2017), ao se retirar a cobertura vegetal do solo, ele fica mais exposto à ação do impacto das gotas de chuva e da enxurrada. Esses fenômenos alteram a rugosidade e a porosidade da superfície do solo, influenciando a taxa de infiltração de água.

Segundo Ribeiro (2021), o homem intervém no ambiente do solo através de diversas maneiras de cultivo e manejo, o que provoca alterações nas suas propriedades químicas, físicas e biológicas e essas alterações têm um impacto direto na fertilidade do solo e na sua qualidade. Assim, o solo cultivado tende, com o tempo, a ter a estrutura original alterada pelo fracionamento dos agregados em unidades menores, com consequente redução no volume de macroporos e aumentos no volume de microporos e densidade do solo.

O objetivo do manejo do solo é melhorar suas propriedades físicas, proporcionando um ambiente saudável para o crescimento das raízes. Isso é alcançado aumentando a aeração, permitindo que a água penetre e reduzindo a resistência do solo ao crescimento das raízes e possibilitando assim melhor que a planta tenha melhor acesso aos nutrientes do solo. (EMBRAPA 2010).

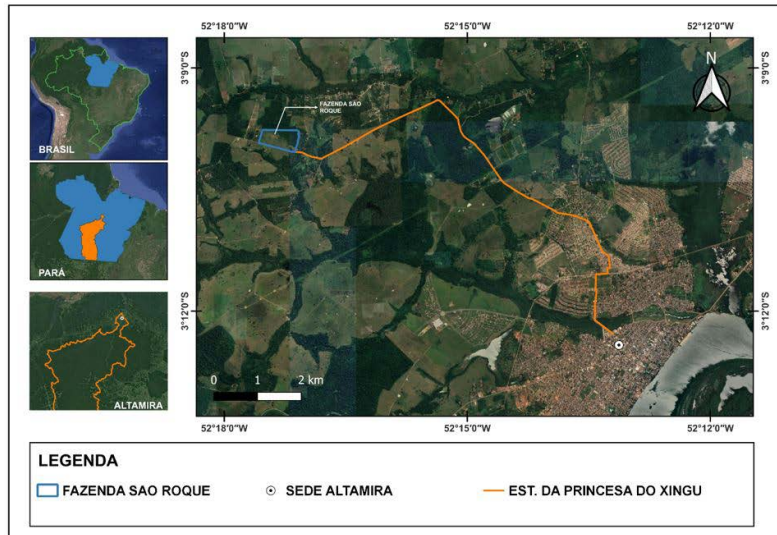
Sendo assim, este trabalho teve como objetivo avaliar as condições físicas e químicas do solo, em pastagens com diferentes métodos de recuperação.

MATERIAIS E MÉTODOS

Localização da área de estudo

O experimento foi realizado na Fazenda São Roque localizada a 13 km do centro de Altamira (Figura 1), as margens da estrada de acesso para comunidade da Princesa do Xingu, Altamira-PA, com coordenadas geográficas Latitude: 3°09'57" Sul e Longitude 52°17'28" W Oeste; altitude de 147 metros. Localizada na região Norte do Brasil, tem um clima tropical caracterizado pela classificação Am de Köppen e Geiger. A temperatura média é de 26.1 °C, com 1914 mm de precipitação média anualmente. Durante a maioria dos meses do ano, há uma pluviosidade significativa.

Figura 1 - Mapa de localização da Fazenda São Roque.



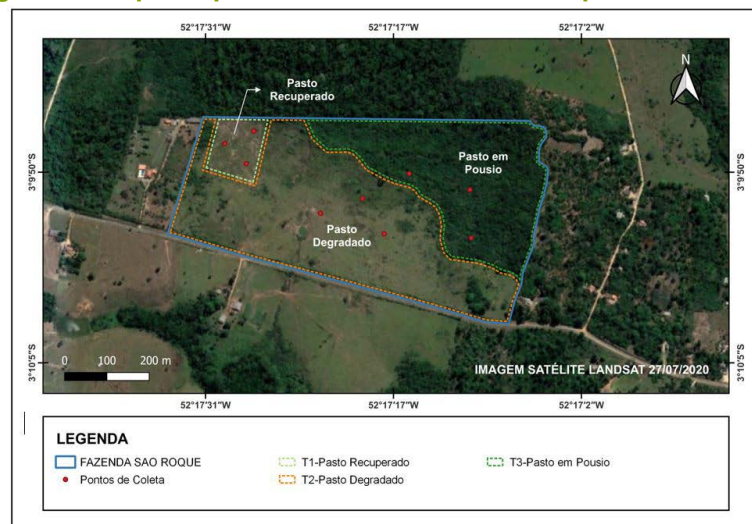
Fonte: QGIS, Google Earth.

TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

A área estudada possui um total de 31,62 ha que são destinados para o pastejo de gado leiteiro, dentre desse total, 1,7 ha encontra-se recuperado com histórico de pastagem extensiva e sem manejo, onde a um ano e meio foi realizada aração para descompactar o solo e em seguida foi aplicado 1 t/ha de calcário e gradeado para incorporara-lo, essa faixa de movimentação do solo atingiu profundidade média de 20 cm, e após aguardar o período de reação foi feito o plantio do *Megathysus maximus* (Capim-Mombaça).

Outra parte se encontra com cerca de 18,51 ha de pasto em estado degradado com *Brachiaria Brizantha* cv (Capim Brachiaria), e o restante da área, cerca de 11,41 há, com histórico de uso de pastagem, está em pousio a 4 anos, que é um método utilizado para recuperação de áreas degradadas, deixando que a vegetação nativa retorne servindo como descanso para o solo. Estas áreas serão denominadas de T1 para o pasto recuperado, T2 para o pasto degradado e T3 para o pasto em pousio como apresentado na figura 2.

Figura 2 - Mapa esquemático dos tratamentos e pontos de coleta.

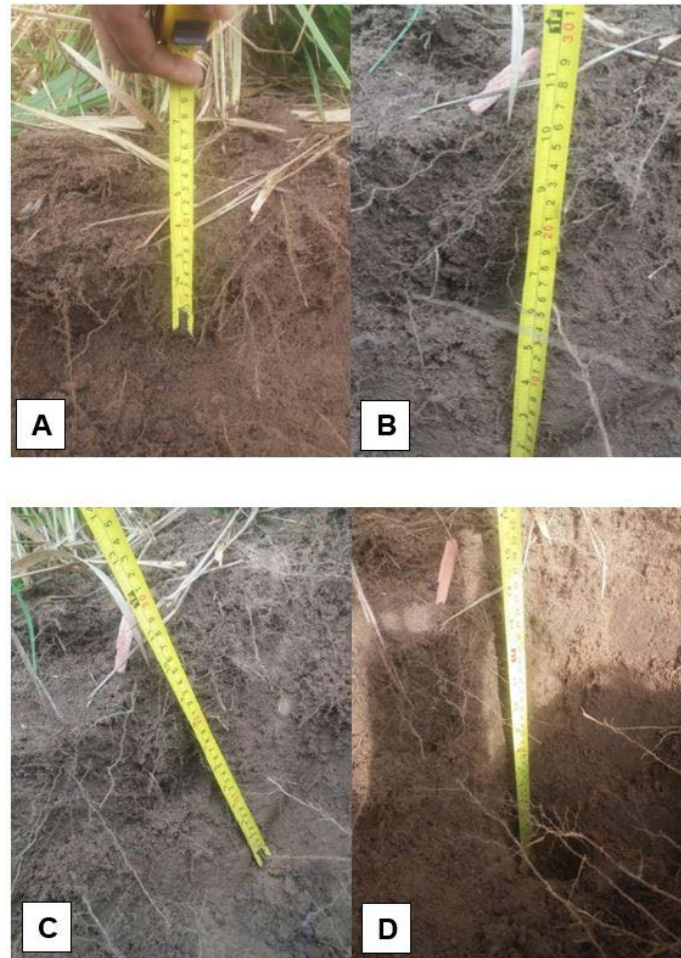


Fonte: QGIS, Google Earth.

COLETA E PROCESSAMENTO DOS DADOS

Em cada área foram abertas 3 minis trincheiras de 40 cm de profundidade, comprimento e largura, onde foi realizado a coleta de amostras indeformadas em anéis de coleta, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm (Figura 3) para realização das análises físicas do solo.

Figura 3 - (A) Abertura da trincheira na profundidade de 10 cm; (B) Abertura da trincheira na profundidade de 20 cm; (C) Abertura da trincheira na profundidade de 30 cm; (D) Abertura da trincheira na profundidade de 40 cm.



Fonte: Autoral

Também foi realizada uma coleta de amostras de solo deformado nos primeiros vinte centímetros, que foram homogeneizadas e enviadas para o laboratório FULLIN, Espírito Santos para análise química de macro e micronutrientes e matéria orgânica. Essas trincheiras foram distribuídas pela área dos tratamentos de acordo com a topografia do terreno.

Foram realizadas as análises físicas do solo, no laboratório de solos da Universidade Federal do Pará, Campus de Altamira – UFPA/CALT para a determinação dos parâmetros: Densidade do Solo (D_s) pelo método do anel volumétrico, seguindo metodologia proposta por EMBRAPA (2020), Porosidade Total (P_t) pelo método indireto e Umidade em base gravimétrica (CGA) seguindo metodologia proposta por EMBRAPA (2017) (Figura 4).

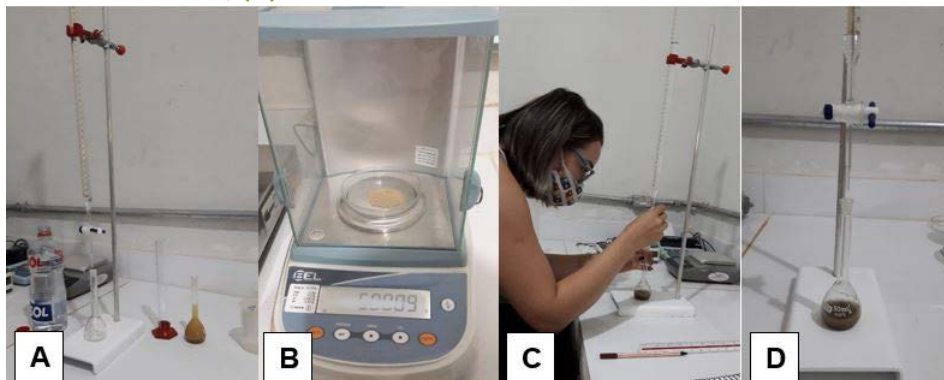
Figura 4 - (A) Materiais utilizados na análise; (B) Pesagem da amostra em recipiente metálico; (C) Recipientes com amostras secas em estufa.



Fonte: Autoral.

Também foi realizada a análise Densidade de Partículas (D_p) pelo método do balão volumétrico (Figura 5), análise Granulométrica pelo método da pipeta (Figuras 6 e 7) conforme a metodologia proposta pela EMBRAPA (2017) e a classificação textural com uso do triângulo textural (Figura 8). Os dados obtidos foram submetidos a análise estatística seguindo o modelo de agrupamento de médias de tratamento, teste de Scott-Knott (1974).

Figura 5 - (A) Materiais utilizados na análise; (B) Pesagem da amostra de solo seco; (C) Adição de álcool etílico hidratado; (D) Balão volumétrico com amostra de solo e álcool em repouso.



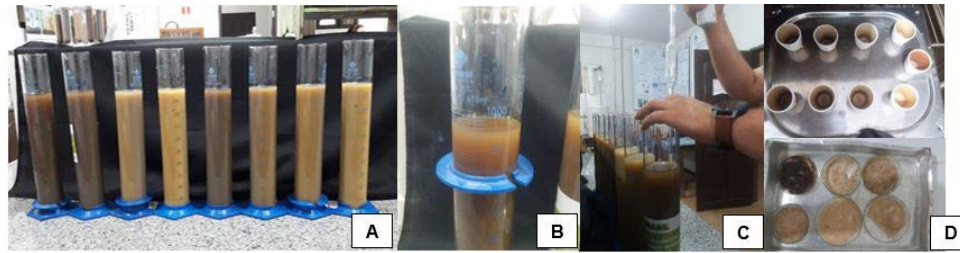
Fonte: Autoral.

Figura 6 - (A) Destorroamento da amostra; (B) Agitação em coqueteleira; (C) Lavagem da solução com água deionizada; (D) Areia separada da solução pela peneira de malha 0,053 mm; (E) Agitação.



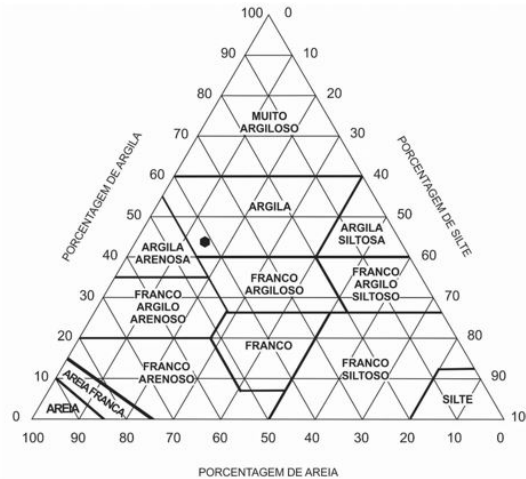
Fonte: Autoral.

Figura 7 - (A) Amostra em descanso para sedimentação; (B) Marcação de 5 cm; (C) Pipetagem da argila em suspensão dentro da área marcada; (D) Amostras de areia e argila secas.



Fonte: Autoral.

Figura 8 - Triângulo utilizado para classificação granulométrica e textural do solo.



RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análise química

A determinação dos atributos químicos foi realizada a fim de verificar a fertilidade do solo manejado nas condições de Pasto Recuperado, Pasto Degradado e Pasto em Pousio como apresentado na tabela 1, e assim interpretar os resultados de acordo com os valores de referência da EMBRAPA (2020) (Tabela 2).

Dentre os atributos avaliados destaca-se primeiramente os teores de pH, pois a maior disponibilidade de nutrientes depende do seu equilíbrio em relação a cultura, onde de acordo com valores da análise estão abaixo do recomendado para pastagens que é entre 6,0 a 6,5, apresentando teores de 5,0 para T1 e T3 e 5,2 para T2 (Tabela 1).

Tabela 1 - Teores médios dos atributos químicos do solo nas áreas de Pasto Recuperado (T1), Pasto Degradado (T2) e Pasto em Pousio (T3).

Áreas	M.O	V	m	pH	P	K	S	Ca	Mg	Al	H+Al	Fe	Zn	Cu	Mn	B	Na	SB	CTC
	dag/kg	%		H ₂ O	mg.dm ³			Cmolc.dm ³					mg/dm ³						Cmolc.dm ³
T1	2,1	19,5	40	5,0	2	17	11	0,5	0,2	0,5	3,1	467	0,4	0,7	8,0	0,18	2,0	0,8	3,9
T2	1,4	23,7	30	5,2	3	18	7	0,7	0,2	0,4	3,1	324	0,6	1,5	36,0	0,20	4,0	1,0	4,1
T3	1,2	17,4	44	5,0	3	15	6	0,5	0,1	0,5	3,1	222	0,7	1,3	36,0	0,18	3,0	0,7	3,8

Fonte: Laboratório Fullin.

Tabela 2 - Interpretação dos teores médios dos atributos químicos do solo de acordo com os valores de referência da EMBRAPA (2020) nas áreas de Pasto Recuperado (T1), Pasto Degradado (T2) e Pasto em Pousio (T3).

Áreas	M.O	V	m	pH	P	K	S	Ca	Mg	Al	H+Al	Fe	Zn	Cu	Mn	B	Na	SB	CTC
	dag/kg	%		H ₂ O	mg.dm ³			Cmolc.dm ³				mg/dm ³			Cmolc.dm ³				
T1	M	B	M	AM	B	B	A	B	B	M	M	A	B	B	M	B	B	B	B
T2	B	B	M	AM	B	B	M	B	B	M	M	A	B	M	A	B	B	B	B
T3	B	B	M	AM	B	B	M	B	B	M	M	A	B	M	A	B	B	B	B

AM= Acidez Média; A= Alto; M= Médio; B= Baixo.

De acordo com Souza (2020) é esperado que, à medida que o pH diminuir (tornar-se mais ácido), os níveis de Al aumentarão devido à descomplexação dos mesmos, tornando o solo mais tóxico. Porém, as pastagens têm certa tolerância a toxicidade dos solos ácidos, e no caso da Brachiaria e do capim Mombaça de acordo com a Embrapa (2020) apresentam adaptação mediana a solos ácidos quando se tem saturação de alumínio (m%) a 25% e Ca+Mg a 1,5 cmolc/dm³.

Entretanto, os teores de saturação de alumínio estão acima do aceitável sendo considerado prejudicial para a cultura em todos os tratamentos enquanto teores de Ca+Mg ficaram abaixo do recomendado, prejudicando a adaptação da cultura. Fato semelhante foi observado por Bahia (2019) que constatou que a remoção da vegetação pode influenciar os processos de perda de nutrientes, especialmente os minerais solúveis. Dessa forma, provoca redução na quantidade de Ca²⁺ e Mg²⁺ e um aumento no teor de H⁺ e Al³⁺.

Outro ponto importante é a saturação por base (V%) que é usada para determinar o nível de fertilidade desejável para as culturas, que, no caso das pastagens, é recomendado está entre 50% e 60% (EMBRAPA, 2020), porém todos os tratamentos também apresentaram valor insuficiente se caracterizando como solos distróficos, sendo T2 com 23,7% superior a T1 com 19,5% e T3 com 17,4% indicando que a aplicação do calcário não foi suficiente para neutralizar o alumínio trocável e aumentar o V%.

Esses valores recomendados de V% relacionados a presença de Matéria Orgânica (MO) promove uma boa atividade microbiana, melhorando a disponibilidade de nutrientes como Ca e Mg (ARAÚJO, 2021), citados anteriormente para melhorar a tolerância a toxicidade. Entre os tratamentos, T1 apresenta o melhor teor de MO (2,1 Dag/kg) e o T3 apresentou o valor mais baixo de 1,2 Dag/kg, de acordo com Souza *et al.* (2018) é possível observar que os maiores teores de matéria orgânica estão presentes nas camadas mais superficiais do solo ao se estudar áreas de pastagens. Isso se deve ao fato de que as forrageiras estão presentes em maior abundância nessas camadas, o que resulta no acúmulo desse atributo do solo, ao contrário da área de pousio, que apresenta vegetação de regeneração.

Além disso, se deve aumentar a saturação por bases no solo afim proporcionar uma maior disponibilidade de potássio (K) para ligação aos sítios trocáveis do solo, reduzindo assim a lixiviação do K que é essencial para as plantas, pois permite que elas desenvolvam seu metabolismo. Esta substância também ajuda na resistência às condições climáticas adversas, incluindo secas, insetos e doenças fúngicas, de acordo com Brady e Weil (2013).

O fósforo (P) desempenha um papel importante nas plantas, ajudando o crescimento dos sistemas radiculares e o perfilhamento das gramíneas, sendo este elemento vital para a melhor

produtividade e persistência das forrageiras e a grande produção de matéria seca; consequentemente, a sua falta reduz a capacidade de produção das pastagens (GOMEZ SOUZA, 2020). Como pode ser observado na tabela 1, o fósforo presente nos três tratamentos está com baixos teores, destacando novamente T1 que apresenta apenas 2 mg/dm³ que de acordo com Bahia (2019) é necessário para recuperação de pastagens degradadas e maximização da produção que ocorra a elevação do teor de fósforo, pois ele é considerado um elemento limitante.

Os teores dos micronutrientes Zinco, Boro e Sódio em todos os tratamentos se encontram baixos (Tabela 2), onde segundo MOREIRA *et al.* (2005, *apud* OLIVEIRA *et al.*, 1998) relatam que deficiências de zinco em forrageiras desenvolvidas em pastagens recuperadas constituíram as primeiras indicações de que maiores cuidados com a nutrição mineral das pastagens deveriam ser consideradas, principalmente quando se utilizam as práticas da calagem e de fosfatagem. Além disso a deficiência de boro prejudica o desenvolvimento das plantas e as deixa amareladas fazendo com que o gado ande mais para consumir o necessário.

Análise física

A análise dos dados de Densidade do Solo (DS) indica que existem diferenças significativas entre a DS dos pastos recuperado e degradado. A densidade do solo no pasto recuperado foi menor do que no pasto degradado, apresentando diferença significativa apenas na camada mais superficial (0-10) (Tabela 3). Esta diferença pode ser explicada devido às alterações na porosidade do solo como resultado da descompactação mecânica e da deposição de matéria orgânica.

Os dados obtidos para o tratamento T2-Pasto Degradado mostram que houve um aumento da DS com a profundidade, variando de 1736,93 a 1795,07 kg/m³. Isso pode ser explicado pelo movimento contínuo dos animais sobre o solo gerando um efeito cumulativo que, em conjunto com a pressão exercida, leva ao aumento da densidade (CARMO *et al.*, 2018).

Essas diferenças na DS também está presente em relação ao T3 e podem ser explicadas pelas diferentes condições edáficas e pelos diferentes usos que cada tipo de pastagem recebe. O pasto degradado geralmente recebe maior pressão de uso, pois é frequentemente utilizado como área de pastejo. Isso pode afetar a estrutura do solo, aumentando sua densidade. O pasto em pousio, por outro lado, é geralmente utilizado como área de descanso, recebendo menor pressão de uso. Isso pode ter contribuído para que a densidade fosse menor nesse ambiente.

No trabalho de Araújo *et al.* (2022) comparando a área de pastagem e a floresta nativa, foi possível observar que a área de pastagem apresentou maiores valores de Ds. Essa alteração no atributo do solo pode ser atribuída ao pisoteio de animais, visto que a compactação do solo é provocada pela carga animal. A força aplicada na superfície provoca o aumento da densidade.

Tabela 3 - Médias de Densidade do Solo e Densidade de Partículas em diferentes profundidades em área de pasto recuperado (T1), pasto degradado (T2) e pasto em pousio (T3).

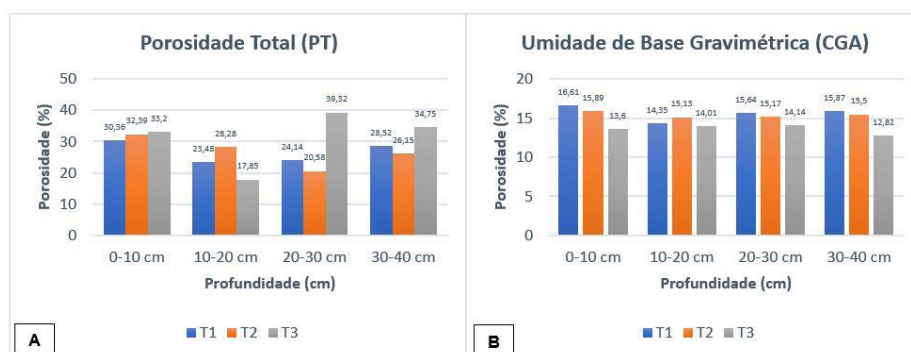
Tratamentos	Profundidades (cm)	Médias de D. Do solo (kg/m ³)	Médias de D. de Partículas (kg/m ³)
T1-Pasto Recuperado	0-10	1602.856691 b	2305.506667 b
	10-20	1688.208120 a	2206.880000 b
	20-30	1772.123684 a	2336.826667 b
	30-40	1765.295683 a	2474.906667 c

T2-Pasto Degradado	0-10	1736.936162 a	2574.276667 c
	10-20	1795.070363 a	2504.443333 c
	20-30	1754.578247 a	2210.723333 b
	30-40	1779.727752 a	2410.810000 c
T3-Pasto em Pousio	0-10	1555.856691 b	2335.103333 b
	10-20	1675.674271 a	2039.696667 a
	20-30	1506.904724 b	2483.253333 c
	30-40	1700.172157 a	2606.350000 c

Os dados de densidade de partículas (Dp) presentes na tabela 3 indicam que a Dp em T1 e T2 diminuiu com o aumento da profundidade, enquanto em T3 a DP aumentou com o aumento da profundidade. Estes resultados sugerem que os solos dos pastos recuperado e degradado são mais férteis do que o solo do pasto em pousio, uma vez que a densidade de partículas aumenta com a fertilidade do solo. E isto pode ser comprovado com os dados da tabela 1, onde indicam que o T3 apresenta o menor valor de V% entre os tratamentos.

Além disso, a densidade das partículas dos solos varia dependendo da sua natureza mineralógica, geralmente situando-se entre 2600 kg/m³ e 2750 kg/m³ (LIMA *et al.*, 2021). Os solos apresentados possuem valores abaixo do comum, destacando apenas a camada de 30-40 de T3 que se enquadra dentro do valor mínimo, porém T2 tem valores mais próximos do indicado.

Figura 10 - (A) Porosidade Total do solo; (B) Umidade do solo, nas áreas de pasto recuperado (T1), pasto degradado (T2) e pasto em pousio (T3).



A Porosidade Total (PT) (Figura 10) em T1 foi maior na camada mais superficial 0-10 cm do que nas camadas mais profundas indicando houve uma redução na porosidade, mostrando que houve compactação do solo, o que pode ser explicado pelo histórico de uso da área de pastagem sem manejo, onde foi realizado a movimentação do solo com grade leve que movimentou até a camada de 20 cm e aumentou o teor de matéria orgânica no solo que consequentemente aumentou a porosidade refletindo também na umidade do solo, devido apresentar maior volume de serrapilheira e preservando a umidade.

A composição do solo e os sistemas de uso e manejo desempenham um papel importante na determinação da PT. Geralmente, a porosidade é menor com a profundidade, devido ao declínio da matéria orgânica, da estruturação e do aumento da DS, assim como pela maior compactação (LIMA *et al.*, 2021).

A porosidade em T2 foi maior nas camadas mais profundas de 20-30 e 30-40 cm, ao contrário de T3 que apresentou maior quantidade de poros, possivelmente por conta do tipo de vegetação predominante que apresenta sistema radicular mais profundo como descreveu Bur-

grever *et al.* (2019) onde o reflorestamento mostrou valores de macroporosidade iguais ao solo com mata nativa, indicando que o reflorestamento restaurou a qualidade física do solo depois de ser adotado em áreas degradadas, mediante a renovação das raízes das espécies arbóreas.

Tabela 5 - Teores de Argila, Areia e Silte em porcentagem e classificação textural dos solos de área de pasto recuperado (T1), pasto degradado (T2) e pasto em pousio (T3).

Tratamentos	Profundidades (cm)	Argila (%)	Areia (%)	Silte(%)	Textura
T1	0-10	0,6	80,2	19,2	Areia Franca
	10-20	0,7	78,65	20,65	Areia Franca
	20-30	0,8	72,25	26,95	Areia Franca
	30-40	1,2	67,1	31,7	Franco Arenosa
T2	0-10	0,8	72,15	27,5	Areia Franca
	10-20	1,2	67,45	31,35	Franco Arenosa
	20-30	0,9	64,4	34,7	Franco Arenosa
	30-40	1,2	61,4	37,4	Franco Arenosa
T3	0-10	0,6	84,55	14,85	Areia Franca
	10-20	0,9	76,85	22,25	Areia Franca
	20-30	1,1	72,45	26,45	Areia Franca
	30-40	1,1	69,55	29,35	Franco Arenosa

Na tabela 5 é possível notar que as porcentagens das frações primárias dos solos das áreas examinadas dão origem às classes texturais, que são formadas por combinações dos componentes areia, silte e argila, que estão presentes em proporções variadas (LIMA *et al.*, 2021). No tratamento T3 nota-se que a porcentagem de areia é superior aos demais tratamentos principalmente na primeira camada, resultado semelhante também foi observado por Lima *et al.* (2021) onde o solo da mata nativa quando comparado com as áreas de cultivo, os resultados mostraram um aumento no teor de areia na camada superior dos solos (0-0,2 m) e uma diminuição da quantidade de argila.

Porém, assim como T3, T1 também apresenta alta porcentagem de areia, deixando ambos os tratamentos dentro da mesma classificação textural em todas as camadas, sendo areia franca de 0-30 cm e franco arenoso de 30-40 cm. Para T2 a classificação se mostrou diferente, com porcentagem maior de silte e argila, mas isso pode ser explicado pelo fato da falta de vegetação ou baixo desenvolvimento de plantas promover maior movimentação de material mais grosso, como areia, particularmente nas parcelas situadas em encostas com inclinação superior a 6% (ALVES *et al.*, 2021).

Contudo, em todos os tratamentos o solo apresenta baixa porcentagem de argila, a qual é a fração de maior reatividade do solo e que proporciona maior coesão, importante para manter a umidade, pois os solos arenosos com menos de 15% de argila têm baixa capacidade de reter água e nutrientes e são suscetíveis à erosão. Custos maiores com práticas culturais são necessários para assegurar o suprimento de água e nutrientes às plantas, bem como o manejo eficiente da matéria orgânica para evitar a degradação (LIMA *et al.*, 2021).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os métodos de manejo do solo e de recuperação aplicados nas pastagens tiveram impacto significativo nas condições físicas e químicas do solo. A pastagem em pousio restaurou a

qualidade física do solo de áreas degradadas, o que resultou em maior quantidade de poros e menor densidade do solo. Além disso, os teores de pH e saturação de alumínio estavam abaixo do recomendado para pastagens, e a saturação de bases estava abaixo do aceitável, indicando solos distróficos e a necessidade de correção no método de recuperação de pastagens. Os elementos fósforo, zinco, boro e sódio também mostraram teores baixos, indicando essa necessidade de cuidados com a nutrição mineral das pastagens.

REFERÊNCIAS

- ALVES, E. A. C; MORAES, I. C; LUPINACCI, C. M; PINTO, S. A. F. Perdas de solo e do material transportado por erosão hídrica sob cultivo de cana-de-açúcar e pastagem distribuição do tamanho das partículas. *Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia*. v. 19, n.3. 2021. Rio Claro, SP, Brasil - eISSN: 1678—698X. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/estgeo/article/view/16138>. Acesso em: 25 mai. 2023.
- ANJOS, J. B. Cultivo da videira: Mecanização. EMBRAPA, 2010. Disponível em: http://www.cpatsa.embrapa.br:8080/sistema_producao/spuva/mecanizacao.html. Acesso em: 18 mai. 2023
- ARAUJO, W. O; ALVARES, A. E. S.; EMERICK, H. F; CRUZ, S. N; OLIVEIRA, M. V; SILVA, C. D. T; ALMEIDA, W. S; CAMPOS, M. C. C; FREITAS, L; OLIVEIRA, I. A. Impactos na variabilidade espacial da densidade e porosidade do solo em função da transformação de floresta em pastagem no Vale do Jamari, Rondônia. *Investigação, Sociedade e Desenvolvimento*, v. 11, n. 15, pág. e284111537170, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i15.37170. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/37170>. Acesso em: 16 abr. 2023.
- BAHIA, F. G. Propriedades físicas e químicas do solo em pastagem com diferentes estágios de degradação submetidas ou não à queima. *Universiade Federal de São João Del-Rei. Sete Lagoas*, 2019.
- BRADY, NYLE C; WEIL, RAY R. Elementos da natureza e propriedades dos solos. 3. Ed.-Porto Alegre: Bookman, 2013.
- BURGREVER, C. J; FREITAS, F. F; FISTAROL, T. A. F; ARAÚJO, F. B; JÚNIOR, G. F. S. Propriedades físicas indicadoras da qualidade do solo sob sistemas de manejo – Alta Floresta. *Revista Científica Rural*. v. 21, n. 2. 2019. Doi: <https://doi.org/10.30945/rcr-v21i2.361>. Bagé-RS.
- CARMO, M. C; CUNICO, J. M; SANTOS, M. R. G; SILVA, P. K. M; SIQUIERA, M. G. Densidade e Porosidade do solo em pastagens recuperadas e degradada, na Amazônia Ocidental. *Agrarian Academy*. v. 5, n. 9, pág. 153, 2018. DOI: 10.18677/Agrarian_Academy_2018a15. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/agrarian/article/view/5041>. Acesso em: 8 mar. 2023.
- CORREIA, K. A.; SILVA, S. A. S; SILVA, R. M; HAMID, S. S.; FARIAS, V. D S.; COSTA, J. F.; SANTOS, M. A. S. dos. Soil fertility in pastures in the municipality of Vitória do Xingu, Pará, Brazil. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 6, p. e36410615021, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i6.15021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/15021>. Acesso em: 15 abr. 2023.
- DIAS-FILHO, M. B; LOPES, M. J. S. Fertilidade do solo em pastagem: Como construir e monitorar. *Embrapa Amazônia Oriental. Documentos*, 460. 24p. Belém-PA, 2021. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1130597>. Acesso em: 2 abr. 2023.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Amazônia Oriental. Livro Técnico. Recomendação de Adubação e Calagem para o estado do Pará, Belém PA (Brasil), 2020. 262p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solo. CNPS.-3. ed. atual.- Brasília, 2017.

LIMA, B. R. D; NEVES, B. R; OLIVEIRA, E. P; BEBÉ, F. V; LIMA, P. A; JÚNIOR, E. P. D; FERNANDES, E. C; PEREIRA, E. G. Caracterização física de solos sob diferentes usos e manejos em propriedades de agricultura familiar em Candiba-Bahia. Revista Brasileira de Desenvolvimento, v. 7, n. 1, pág. 1220–1233, 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n1-082. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/22640>. Acesso em: 2 abr. 2023.

MOREIRA, J. A. A. ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO. Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO, agosto 2005.

SILVA, A. C. RECUPERAÇÃO DE ÁREA DE ENCOSTA SOB PROCESSO EROSIVO E REVEGETAÇÃO DE TALUDE, UTILIZANDO CAPIM VETIVER (*Chryzopogon zizanioides*), NO MUNICÍPIO DE ENGENHEIRO PAULO DE FRONTIN, NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO, Seropédica/RJ, 2017.

SOUZA, J. G; AIRES, F. P. G; GOMIDE, P. H. O; NUNES, J. C. CALAGEM E ADUBAÇÃO NO CRESCIMENTO DO CAPIM MOMBAÇA EM RORAINÓPOLIS, RORAIMA. Ambiente: Gestão e Desenvolvimento, v. 13, n. 1, p. 24–35, 2020. DOI: 10.24979/376. Disponível em: <https://periodicos.uerr.edu.br/index.php/ambiente/article/view/376>. Acesso em: 18 abr. 2023.

SOUZA, M. A. B. Acidez do solo em pastagem após 4 anos de aplicação de água residuária de suínos. 2019. 27 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020.

SOUZA, W. R; SILVA, S. A. S; S, R. M; ALVES, R. de F; SILVA, J. R. Atributos físico-químicos do solo em uma voçoroca no município de Brasil Novo – Pará: um estudo de caso. Revista TREE DIMENSIONAL, Pro Floresta, v.3 n.5; p. 14 – 26. Goiânia. 2018.

RIBEIRO, S. B. ATRIBUTOS QUÍMICOS, FÍSICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO EM SISTEMAS DE USO DA TERRA EM MARABÁ, NO SUDESTE DO PARÁ. Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho”. Jaboticabal/SP, 2021.



**O design higiênico de equipamentos
e a limpeza CIP: uma díade de valor
para a manutenção da qualidade na
indústria de alimentos**

**Hygienic equipment design and CIP
cleaning: a value activity for quality
maintenance in the food industry**

Geisla Thais Malagutti
Gisele Cristina Justen

DOI: 10.47573/ayd.5379.2.190.5

RESUMO

As indústrias alimentícias têm se atentado a manter dentro dos padrões da legislação sem perder eficiência produtiva e mantendo a qualidade dos produtos. Quando uma limpeza não é eficiente pode ocasionar o desenvolvimento de microrganismos, especialmente os biofilmes. Biofilmes são uma forma de vida microbiana séssil, que diminuem a vida útil da matéria-prima e produto acabado, pois apresentam uma maior resistência aos processos de higienização, sendo necessário elaborar estratégias para prevenir ou eliminá-los. O processo de limpeza é capaz de remover alguns tipos de microrganismos, porém a maioria permanece aderida, principalmente biofilmes maduros. Uma limpeza eficaz deve quebrar matrizes microbiológicas de biofilmes. Nas indústrias alimentícias é muito comum a utilização de um sistema automatizado denominado *Clean-in-Place* (CIP) que consiste em uma limpeza automática de tubulações, tanques e equipamentos em geral sem desmontagem. Por vezes mesmo a limpeza CIP mais eficiente pode não remover todo o residual de produto no equipamento, favorecendo os biofilmes, pois podem haver áreas mortas que não são atingidas pelas soluções de limpeza. Uma solução para que não ocorra este tipo de situação é o planejamento de equipamentos que possuem design higiênico, evitando assim a formação de biofilmes e combatendo as contaminações nos produtos finais. Com foco na prevenção, o *design* higiênico pode ser considerado um ponto chave no sucesso da limpeza de equipamentos e utensílios, além de garantir o atendimento às exigências legais, uma vez que um projeto eficiente de equipamentos auxiliará na garantia da qualidade, segurança, desempenho e confiabilidade das indústrias alimentícias.

Palavras-chave: indústria. legislação. processo. limpeza. alimentos.

INTRODUÇÃO

As indústrias alimentícias têm se atentado a manter a qualidade nos produtos dentro dos padrões da legislação sem perder eficiência produtiva. Isso se deve a partir da preocupação de garantir a segurança de seus produtos, mantendo o processo produtivo em condições higiênico-sanitárias adequadas (ALLES E DUTRA, 2011).

Ao manter a indústria dentro dos padrões de qualidade, além de atender as normas e legislações vigentes, também garante a satisfação dos clientes, cada vez mais exigentes, que buscam atender as suas necessidades de forma satisfatória e que atendam às suas expectativas, mantendo o produto padronizado e livre de contaminações (BERTI E SANTOS, 2016).

A contaminação de um alimento pode ocorrer ao longo de toda a cadeia produtiva, onde contaminantes físicos, químicos e biológicos podem ser introduzidos de forma não intencional, trazendo danos à saúde do consumidor. Os contaminantes físicos podem ser provenientes de qualquer resíduo sólido, como fragmentos de insetos, vidro, plástico, entre outros; contaminantes químicos podem ser oriundos de pesticidas, metais pesados ou produtos de limpeza; contaminantes biológicos podem ser inerentes a microrganismos patógenos ou tóxicos (DUTRA, 2017).

Ferramentas como as Boas Práticas de Fabricação (BPF) e Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC) são a base para muitas normas e legislações, pois ajudam a manter os produtos livres de contaminações cruzadas e ajudam a conter os contaminantes (sejam físicos, químicos ou biológicos), porém na indústria mesmo com a implantação dessas ferramentas podem ocorrer falhas relacionadas à segurança dos alimentos, podendo prejudicar a saúde

do consumidor e causar prejuízos financeiros a indústria (GUIMARÃES, 2012).

As BPF e APPCC são ferramentas que ajudam a conter riscos de contaminações microbiológicas, químicas e físicas, mas estas, aliadas a outros procedimentos podem se tornar muito mais eficientes e eficazes.

Quando uma limpeza não é eficiente pode ocasionar o desenvolvimento de microrganismos que se multiplicam rapidamente na presença de umidade e matéria orgânica, formando biofilmes de difícil eliminação sendo estes umas das principais causas de contaminações cruzadas (MARIOT, 2010).

A limpeza CIP (*Clean-In-Place*) garante que não haverá a formação do biofilme, desde que não sejam em locais de difícil acesso. O CIP consiste em uma limpeza realizada por meio de automação, com sistema padronizado de ciclos. O design higiênico tem como objetivo eliminar ou reduzir o risco de contaminações e formação de biofilmes que podem acarretar em danos à saúde do consumidor prevenindo que um *design* inadequado dificulte a limpeza dos equipamentos, ocasionando a contaminação das produções seguintes (ALLES E DUTRA, 2011).

Dentre as características de um projeto sanitário estão a eliminação de áreas mortas, que acumulam produto e favorecem a formação dos biofilmes; materiais inertes, lisos, que possuem ausência de cantos ou bordas de difícil acesso e de fácil desmontagem que facilitem o manuseio e a limpeza (MARIOT, 2010).

Além do benefício de eliminar contaminações, biofilmes, incrustações e pontos de difícil acesso, o *design* higiênico também auxilia na economia de produtos químicos na limpeza, menor tempo gasto na higienização aumentando o grau de disponibilidade do equipamento, consequentemente aumentando a produtividade (MARIOT, 2010).

Tendo em vista casos de contaminações microbiológicas, este trabalho tem como objetivo geral realizar uma revisão bibliográfica relacionando os perigos da formação de biofilmes nas indústrias alimentícias e como objetivos específicos avaliar a relação entre um design higiênico e uma limpeza CIP (*Clean-In-Place*) eficientes para combate de microrganismos patógenos.

Para elaboração do presente estudo a abordagem metodológica utilizada foi uma revisão bibliográfica

Todos os artigos encontrados foram pré-selecionados e em seguida, fez-se uma leitura exploratória com o objetivo de verificar se atendiam aos critérios de inclusão estabelecidos

CONTROLE DE QUALIDADE NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

Quando o assunto é qualidade na indústria de alimentos o foco é voltado para o aspecto de segurança do produto, pois qualquer problema de contaminação pode afetar a saúde do consumidor (ALVARENGA, 2014).

A sobrevivência das indústrias de alimentos está diretamente ligada à sua gestão da qualidade, pois a busca incessante pela melhoria da qualidade no produto, tanto pela segurança do alimento, quanto pela satisfação do consumidor, está ligada a competitividade do mercado atual, cada vez mais exigente.

Paladini (1995) afirma que a “preocupação com a qualidade remonta a épocas antigas, embora não houvesse, neste período, uma noção muito clara do que fosse qualidade”. É consenso entre os especialistas e estudiosos na área que a preocupação com a qualidade é antiga, porém em cada época a percepção de qualidade era distinta.

Devido a isso, as definições para o que é qualidade são muito diversas. Diariamente o termo qualidade é utilizado para pontuar algo que seja bom ou satisfatório, mas ainda possui um significado muito subjetivo. Alguns estudiosos definiram alguns conceitos relacionados a gestão de qualidade.

Ishikawa (1943) idealizou o diagrama de causa e efeito, também conhecido como diagrama espinha de peixe. Além disso introduziu o ciclo de qualidade reunindo grandes ferramentas da qualidade em um método conciso, como a lista de verificação, gráfico de Pareto, histograma, fluxogramas etc.

Crosby (1983) estabeleceu que um sistema para alcançar melhores níveis de qualidade deveria ser principalmente preventivo e, assim, estabeleceu o zero defeito como uma direção a seguir.

Juran (1989) define a qualidade como a ausência de defeitos. O termo qualidade foi subdividido por ele em três grandes áreas: planejamento, controle e melhoria constante; e em quatro parâmetros que são a habilidade de produzir com alta produtividade, minimizar o trabalho, perdas e paralisações.

Para Deming (1990) a qualidade é tudo aquilo que melhora o produto do ponto de vista do cliente.

Neste contexto, Garvin (1992) estabeleceu que a qualidade de um produto pode ter significados distintos, a depender do contexto no qual ele está inserido, por isso definiu que ela possui oito dimensões que são essenciais para o seu entendimento, sendo elas: o desempenho, as características, a confiabilidade, a conformidade, a durabilidade, o atendimento, a estética e a qualidade percebida.

Feigenbaum (1994) conceituou qualidade como o sistema efetivo para integrar os esforços do desenvolvimento da qualidade, sua manutenção e melhoria.

Segundo Alvarenga (2014), a empresa que almeja ser competitiva no mercado, deve focar em algumas dessas dimensões da qualidade, adequando as suas capacidades. Para tanto, a empresa deve ter em mente o nicho de mercado no qual se encontra, quais seus objetivos, missão e valores.

Para garantir a segurança dos alimentos foi criado o *Codex Alimentarius*, um fórum internacional de normalização de alimentos estabelecido pela Organização das Nações Unidas por meio da Organização para Alimentação e Agricultura (FAO) e Organização Mundial da Saúde (OMS), que tem por objetivo:

[...] proteger a saúde dos consumidores e garantir práticas justas no comércio de alimentos. A publicação do *Codex Alimentarius* visa orientar e promover a elaboração e estabelecimento de definições e requisitos para alimentos para auxiliar na sua harmonização e facilitar o comércio internacional. (OMS, 2022)

O *Codex Alimentarius* foi desenvolvido com base no Sistema APPCC.

O Sistema APPCC (Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle, do inglês HACCP – *Hazard Analysis and Critical Control Point*) foi desenvolvida com o intuito de controlar a produção de alimentos seguros e também pode ser utilizada para o controle de alimentos de qualidade (DUTRA, 2017).

O APPCC é considerado a principal ferramenta capaz de garantir a segurança, qualidade e integridade dos alimentos. A partir de monitoramentos dos PPRs (Programa de Pré Requisitos) e PCCs (Pontos Críticos de Controle) o sistema é capaz de prevenir contaminações e perigos químicos, biológicos e físicos (SALGADO *et al.*, 2020).

O Sistema APPCC associado a outros programas da qualidade, como BPF (Boas Práticas de Fabricação) e POPs (Procedimento Operacional Padrão) são ferramentas essenciais para a gestão da qualidade nas indústrias de alimentos, pois, segundo Salgado (2020), além de garantir a segurança dos alimentos, também contribui positivamente na redução de custos e aumento da lucratividade, pois existe a diminuição de perdas, menor desperdício e retrabalho.

Além das anteriores, podemos citar também a ISO 9000, ferramenta que é definida como:

[...] um conjunto de padrões internacionais sobre gestão da qualidade e garantia da qualidade desenvolvidos para ajudar as empresas a documentar efetivamente os elementos do sistema de qualidade necessários para manter um sistema de qualidade eficiente. Eles não são específicos para nenhum setor e podem ser aplicados a organizações de qualquer tamanho. A ISO 9000 pode ajudar uma empresa a satisfazer seus clientes, atender aos requisitos regulatórios e alcançar a melhoria contínua. Deve ser considerado um primeiro passo ou o nível básico de um sistema de qualidade. (ISO, 2022)

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é a representante da ISO no Brasil, sendo o único e exclusivo órgão, encarregado das suas respectivas normas técnicas.

Ao aplicar essas ferramentas da qualidade, como as BPFs, POPs e Sistema APPCC, existe uma confiabilidade de que os produtos produzidos serão seguros, porém alguns fatores determinantes, como um design não-higiênico, podem promover a formação de biofilmes, causando contaminações nos produtos, mesmo se as ferramentas implantadas forem seguidas corretamente.

A FORMAÇÃO DE UM BIOFILME

As doenças transmitidas por alimentos ocorrem devido a ingestão de alimentos contaminados por agentes biológicos ou químicos, causando problemas sociais, econômicos e de saúde pública (MAZAHERI *et al.*, 2017).

Segundo dados obtidos pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 2022) entre os anos de 2012 e 2021 ocorreram 6.347 surtos relacionados às doenças transmitidas por alimentos em todo o Brasil, onde 610.684 pessoas ficaram expostas e destas 104.839 ficaram doentes, ocasionando 89 óbitos. Neste contexto, os biofilmes são os principais agentes de contaminação microbológica nas indústrias de alimentos.

Biofilmes são uma forma de vida microbiana séssil (OLIVERA *et al.*, 2010), uma vez que estas são tipos de microrganismos planctônicos que se aderem as superfícies, constituindo uma rede gelatinosa que imobiliza e protege as células (NASCECME, 2022), podendo incluir uma ou várias espécies de bactérias e formar uma camada única ou tridimensional (FONSECA, 2011). A

Figura 1 representa um biofilme na indústria de alimentos.

Figura 1 – Formação de biofilmes na indústria de alimentos.



Fonte: Food Safety Brazil (2019).

Esta capacidade foi desenvolvida como uma estratégia adaptativa que permite aumentar a disponibilidade de água e nutrientes para seu crescimento além de lhes conferir resistência contra agentes antimicrobianos, fator preocupante para a indústria de alimentos, fazendo com que muitas vezes procedimentos de desinfecção e limpeza se tornem ineficientes para a eliminação dos biofilmes (MAHAZERI *et al.*, 2017).

As indústrias de alimentos estão especialmente suscetíveis a estes tipos de microrganismos por processarem produtos ricos em matéria orgânica e nutrientes (SANTOS, 2018). Foram realizados alguns estudos em diversas indústrias alimentares, onde foi revelado que os biofilmes normalmente eram formados por diversos microrganismos, deteriorantes ou patogênicos, dentre eles é possível citar *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli*, *Bacillus cereus* e *Pseudomonas* (Tabela 1) (FONSECA, 2011).

Tabela 1 – Espécies microbianas presentes em biofilmes formados em superfícies de contato alimentar.

Unidade de Processamento	Espécies microbianas isoladas (%)
Produtos lácteos (linhas de pasteurização) - Sharma e Anand (2002)	<i>Bacillus cereus</i> - 12%
	<i>Escherichia coli</i> - 11%
	<i>Shigella sp.</i> - 11%
	<i>Staphylococcus aureus</i> - 8%
Gelados - Gunduz e Tuncel (2006)	<i>Listeria monocytogenes</i> - N.I.*
	<i>Shigella</i> - N.I.*
Caviar - Bagge-Ravn et al.(2003)	Neisseriaceae - 25%
	<i>Pseudomonas</i> - 6%
	<i>Vibrio</i> - 10%
	<i>Listeria</i> - 3%
Camarões - Guðbjörnsdóttir et al. (2005)	<i>Pseudomonas</i> - 66%
	<i>P. fluorescens</i> - N.I.*
	<i>P. putida</i> - N.I.*
Peixe - Guðbjörnsdóttir et al. (2005)	Enterobacteriaceae - 27%
	<i>Serratia liquefaciens</i> - N.I.*
*N.I. - Não informado	

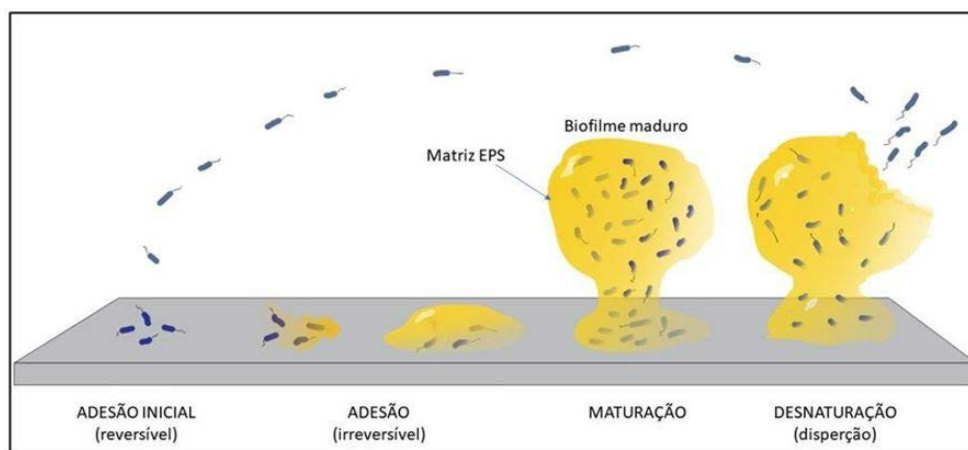
Fonte: Adaptado de Fonseca (2011).

Os biofilmes possuem fisiologia distinta de células livres, o que as torna altamente resistentes aos processos de limpeza e sanitização. Além da contaminação dos alimentos eles podem causar outros problemas ao se desprenderem de sua matriz, como entupimento de tubulações, atrasar o tempo de processamento nas plantas e iniciar processo de corrosão nos equipamentos (ROSSI E PORTO, 2009).

A matriz dos biofilmes é envolta de uma substância polimérica extracelular (*extracellular polymeric substances* – EPS) (SANTOS, 2018). A EPS é composta de proteínas, carboidratos e água, não apenas de DNA extracelular, detritos e células mortas. A água é a fração mais significativa, podendo chegar a 97% da matriz do biofilme. Os microrganismos representam uma pequena fração, frequentemente de 2 a 5% da matriz do biofilme (OLIVERA *et al.*, 2010).

A Figura 2 abaixo representa o desenvolvimento de um biofilme como um processo de cinco etapas.

Figura 2 – Esquema de formação de biofilme bacteriano.



Fonte: Pavão et al. (2021).

Na primeira etapa ocorre a adesão inicial das células microbianas à superfície. Alguns fatores que influenciam nesta adesão são: pH, concentração e biodisponibilidade de nutrientes, auto indutores de *quorum sensing*, presença de compostos orgânicos, inorgânicos, temperatura, genética, virulência, resistência dos microrganismos, área e material da superfície (SANTOS, 2018) (OLIVERA *et al.*, 2010). O *quorum sensing* é um processo onde o desenvolvimento primário e a maturação do biofilme são dependentes da densidade populacional e modulação da expressão genética, controlados por moléculas sinalizadoras (OLIVERA *et al.*, 2010).

Inicialmente o processo de adesão ocorre de maneira reversível, devido a fraca interação da bactéria com o substrato. Isso envolve forças de atração de Van der Waals, forças eletrostáticas e forças de interações hidrofóbicas (OLIVERA *et al.*, 2010).

Na segunda etapa, as células se agrupam, ocorrendo a multiplicação e a formação de microcolônias (TREMBLAY *et al.*, 2014). Nesta etapa é onde ocorre a interação física entre a superfície e a célula por meio da EPS produzida pelos microrganismos, resultando em um anexo irreversível (SANTOS, 2018). Esta adesão irreversível é resultado do ancoramento dos apêndices microbianos (pili, flagelo, proteínas adesina) que acontece por meio de interações dipolo-dipolo, pontes de hidrogênio, interações hidrofóbicas, ligações covalentes e iônicas.

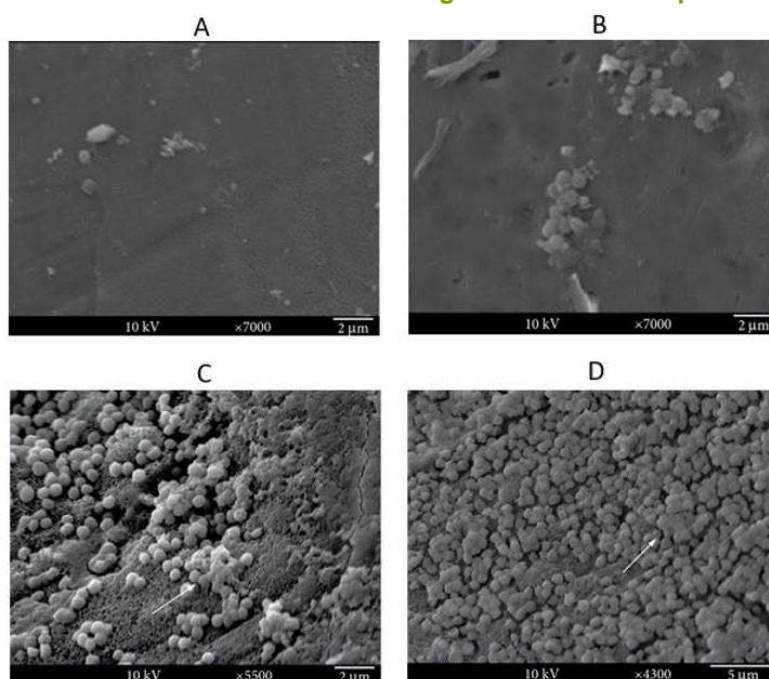
Estudos apontam que a adesão irreversível das células pode ocorrer após 20 minutos de

contato a 4-20°C (SMOOT E PIERSON, 1998).

A terceira etapa é caracterizada pelo aumento da densidade populacional, no qual ocorre também a adesão de outros microrganismos presentes no meio, denominados colonizadores secundários. A formação do biofilme maduro acontece de 3 a 10 dias após a adesão inicial (OLIVEIRA *et al.*, 2010). Na etapa quatro o biofilme está amadurecido, apresentando uma alta atividade metabólica e estágio fisiológico avançado. Fatores como pH, difusão de oxigênio, fonte de carbono e osmolaridade controlam a maturação do biofilme (IST, 2005). Neste momento acontece o equilíbrio dinâmico e inicia-se a produção de células planctônicas (OLIVERA *et al.*, 2010).

Na quinta e última etapa ocorre a dispersão das células em estado planctônico, que rapidamente se dispersam e podem colonizar novas superfícies, formando novos focos de contaminação (SANTOS, 2018). O processo de dispersão pode ser iniciado por diversos fatores, como distúrbios mecânicos, degradação enzimática da matriz de EPS, indução de motilidade e afrouxamento da EPS TREMBLAY *et al.*, 2014). A dispersão é importante para os microrganismos, uma vez que escapam de habitats desfavoráveis e geram novos nichos (MAZAHARI *et al.*, 2017). As microfotografias da Figura 3 apresentam a adesão e desenvolvimento da bactéria *Staphylococcus aureus*:

Figura 3 – Fotomicrografias mostrando a adesão bacteriana de *Staphylococcus aureus* em fragmentos de alumínio, obtidas por microscopia eletrônica de varredura, em diferentes tempos de incubação. Imagem A: 0 dias; imagem B: 2 dias; imagem C: 6 dias; imagem D: 14 dias. As setas mostram estruturas sugestivas de matriz polimérica.



Fonte: Adaptado de Freitas *et al.* (2010).

Para a indústria de alimentos a formação de biofilmes geralmente não é desejável, uma vez que representam um forte potencial de contaminação microbiana e de enzimas deteriorantes que afetam a qualidade dos alimentos (SIQUEIRA *et al.*, 2021).

Microrganismos presentes na forma de biofilmes possuem uma resistência a biocidas muito maior quando comparado aos microrganismos planctônicos devido ao comportamento e expressão genética entre as células. Estudos mostram que menos de 10% dos microrganismos presentes em um sistema são constituídos por células planctônicas, estando mais de 90% na

forma de biofilme (SANTOS, 2018).

Pesquisas sugerem algumas explicações para a resistência dos biofilmes a agente antimicrobianos. Bactérias em biofilmes, particularmente as que estão presentes em camadas mais internas, apresentam reduzidas taxas metabólicas e de crescimento; a matriz de polímeros age como um adsorvente, reduzindo a quantidade de antimicrobiano disponível para interagir com as células do biofilme; o EPS pode reduzir fisicamente a penetração do agente antimicrobiano. A aplicação inadequada de detergentes e sanitizantes pode também promover a aquisição de resistência por parte dos microrganismos (OLIVEIRA *et al.*, 2010).

Dessa maneira, os microrganismos em biofilmes podem permanecer aderidos e sobreviver por longos períodos, mesmo após procedimentos de higienização, comprometendo a qualidade e a segurança do produto final (ROSSI E PORTO, 2009).

Os procedimentos de higienização utilizados na indústria de alimentos devem ser elaborados considerando a presença de microrganismos em biofilmes, por isso o controle da proliferação do mesmo geralmente envolve um procedimento de limpeza chamado Clean-In-Place (CIP).

PROCESSOS DE HIGIENIZAÇÃO UTILIZADOS NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

Na indústria alimentícia, a higienização é dividida em duas etapas: limpeza e desinfecção. A limpeza consiste na remoção de resíduos orgânicos e inorgânicos aderidos às superfícies, que geralmente são constituídos de proteínas, carboidratos e sais minerais (OLIVEIRA *et al.*, 2010).

Esta remoção acontece por meio de ações químicas ou mecânicas, como a utilização de detergentes específicos, água de boa qualidade, escovas e esponjas de diversos tamanhos e formatos (SANTOS, 2018). O processo de limpeza é capaz de remover alguns tipos de microrganismos, porém a maioria permanece aderida, principalmente biofilmes maduros. Uma limpeza eficaz deve quebrar matrizes microbiológicas de biofilmes, para que desinfetantes posteriores possam acessar as células microbianas viáveis (MAZAHERI *et al.*, 2017). Em caso de uma limpeza ineficiente, os desinfetantes aplicados posteriormente não penetrarão na matriz do biofilme, com isso, as células sésseis viáveis não serão destruídas (SANTOS, 2018). Os programas de limpeza devem ser definidos de acordo com o tipo de sujidade presente e o tipo de ambiente em que o alimento é processado. A escolha dos detergentes a serem aplicados são baseados no tipo de produto processado, o tipo de resíduo gerado e as propriedades físico-químicas das superfícies que estão sendo limpas. Conhecer o tipo de sujidade permite a utilização de produtos que otimizarão os processos de limpeza (MAZAHERI *et al.*, 2017).

Os produtos de limpeza devem ter três características importantes: poder quelante, desengordurante e dispersante. O poder quelante possui capacidade de sequestrar minerais, impedindo-os de cristalizar, precipitando e incorporando no material em que está sendo aplicado. A propriedade desengordurante é relacionada a capacidade de emulsificar e dispersar gorduras, e por sua vez, a propriedade dispersante está relacionada a capacidade de reduzir a partícula de sujeira, mantendo a mesma em suspensão (MAZAHERI *et al.*, 2017).

Os produtos utilizados no processo de limpeza podem ser alcalinos ou ácidos. Os alcali-

linos possuem pH superior a 7,0. Possuem capacidade de saponificar a gordura, convertendo-a em sabão, facilitando sua remoção com água. Geralmente são constituídos por hidróxido de sódio, hidróxido de potássio, carbonato de sódio e silicatos de sódio. O limpador alcalino mais comum e agressivo é o hidróxido de sódio devido ao seu baixo custo. Apresenta excelente remoção de resíduos de proteína e óleos graxos por saponificação (THOMAS E SATHIAN, 2014).

Os ácidos são utilizados para remover proteínas incrustadas e sais minerais das superfícies de equipamentos. São caracterizados por possuírem o pH inferior a 7,0. Os ácidos inorgânicos mais utilizados são o ácido fosfórico e o ácido nítrico, por sua vez os ácidos orgânicos também são utilizados, como o ácido cítrico, ácido hidroxiacético e ácido glucônico. Detergentes ácidos melhoram a drenagem e secagem de tubulações e retardam o crescimento de organismos presentes no abastecimento de água. Também auxilia na remoção de incrustações minerais. O detergente ácido usado mais comum é o ácido nítrico, devido ao seu alto poder corrosivo e baixo custo (THOMAS E SATHIAN, 2014).

A etapa de desinfecção consiste em eliminar as bactérias que sobreviveram ao processo de limpeza. A composição de um desinfetante, principalmente a substância biocida ativa depende do componente da matriz extracelular dos biofilmes (MAZAHARI *et al.*, 2017). Os desinfetantes usados nas indústrias de processamento de alimentos geralmente incluem agentes oxidantes, como hipoclorito, peróxido de hidrogênio, ozônio e ácido peracético. Desinfetantes a base de peroxigênio são capazes de eliminar esporos, mas são corrosivos em alta temperatura e pressão (THOMAS E SATHIAN, 2014).

Os requisitos básicos para a escolha de sanitizantes nas indústrias são eficácia, economia e segurança. Os desinfetantes à base de hipoclorito são amplamente usados, pois possuem características que o tornam desejáveis para aplicação CIP, sendo ativos contra uma ampla gama de microrganismos, incluindo bactérias gram-positivas e gram-negativas, esporos bacterianos e vírus (THOMAS E SATHIAN, 2014).

Segundo Oliveira (2010), os sanitizantes mais utilizados em superfícies de equipamentos e utensílios nas indústrias alimentícias brasileiras são os que possuem princípios ativos dos grupos: quaternários de amônio, compostos inorgânicos liberadores de cloro ativo, compostos orgânicos liberadores de cloro ativo, compostos à base de ácido peracético, iodo e derivados.

O resultado de uma higienização eficiente é o aumento da vida útil do produto, prevenindo danos futuros. Uma higienização não eficiente pode causar diversos tipos de contaminação, como contaminação cruzada, contaminação por outros produtos e contaminação microbiológica (MACHADO *et al.*, 2022). A contaminação cruzada consiste em uma contaminação que por meio de arraste ou contato contamina uma área que estava limpa. A contaminação por outros produtos pode ser caracterizada por resíduos gerados em manutenções ou resíduo de agentes de limpeza (enxágue ineficiente).

Os tipos de higienização mais utilizados para controle das contaminações são: higienização manual, semiautomática e automática. A higienização manual é executada de forma simples e básica, sendo diretamente realizada pelo operador treinado e utilizando materiais manuais, como esponjas e escovas. A higienização semiautomática consiste na remoção de peças para serem limpas antes da limpeza automatizada. Por fim, a higienização automatizada é realizada por meio de automação, com sistema padronizado de ciclos (MACHADO, 2022).

Nas indústrias alimentícias é muito comum a utilização de um sistema automatizado denominado *Clean-in-Place* (CIP). O CIP consiste em uma limpeza automática de tubulações, vasos, tanques e equipamentos em geral sem desmontagem, que se dá por meio de um jato ou pulverização de superfícies ou circulação de soluções de limpeza na planta sob condições de maior turbulência e velocidade de fluxo (THOMAS E SATHIAN, 2014). Normalmente a implantação de um sistema CIP é acompanhado por validações, no qual o intuito é garantir que o sistema de limpeza, concentração dos produtos utilizados e tempo estão atingindo o resultado esperado, que no caso, é a ausência de contaminação nos produtos (MACHADO *et al.*, 2022).

A eficiência do sistema CIP depende basicamente de quatro fatores: mecânico, químico, térmico e tempo de contato e uma das suas características é a sua variabilidade na eficácia de eliminação de focos de biofilmes (BREMER *et al.*, 2006). Este tipo de sistema de limpeza tem como objetivo principal a remoção completa de resíduos minerais e orgânicos, que contém em sua composição principalmente carboidratos, proteínas, sais minerais e gordura. Além disso, permite proteger o equipamento, aumentar o rendimento de produção e otimizar todo o processo produtivo, pois dispensa o tempo requerido para desmontagem e montagem de equipamentos (PAULA, 2016).

Segundo Weng *et al.* (2016) os avanços na tecnologia de limpeza provavelmente ajudarão a combater e prevenir a formação de biofilmes, uma vez que o uso excessivo de agentes químicos, como desinfetantes, será evitado, pois este tipo de agente dá origem a resistência dos mesmos. Para realizar a limpeza CIP as soluções utilizadas incluem vários tipos de detergentes, sanitizantes ou desinfetantes, sendo eles ácidos ou alcalinos (THOMAS E SATHIAN, 2014).

Uma prática comum é a reutilização das soluções para limpezas ou enxágues iniciais. O tempo de circulação da limpeza CIP e quantidade de vezes que as soluções serão reutilizadas varia conforme o produto produzido (JACKSON *et al.*, 2008).

Por vezes mesmo a limpeza CIP mais eficiente pode não remover todo o residual de produto no equipamento, pois podem haver áreas mortas que não são atingidas pelas soluções de limpeza. Essas áreas mortas são especialmente convenientes para a formação e desenvolvimento de biofilmes, pois são de difícil acesso e geralmente não ocorre a limpeza adequada. Uma solução para que não ocorra este tipo de situação é o planejamento de equipamentos que possuem *design* higiênico, evitando assim a formação de biofilmes e combatendo as contaminações nos produtos finais.

DESIGN HIGIÊNICO DE EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS

Um equipamento com *design* higiênico incorpora como característica, com caráter preventivo, fatores que reduzem ou eliminam o risco de constituir uma fonte de contaminação para os alimentos, de forma direta ou indireta (MARIOT, 2010).

O *design* higiênico é um dos fatores principais para obtenção de alimentos seguros em conjunto com práticas higiênicas, como BPF. Segundo Alles e Dutra (2011) alguns fatores devem ser levados em consideração, como:

- Localização e construção da fábrica;

- Projeto da estrutura do prédio;
- Seleção de materiais de construção e acabamentos de superfícies;
- Segregação de áreas para controlar os perigos;
- Fluxo de produção;
- Projeto e instalação de serviços e utilidades (água, ar, vapor, eletricidade, etc.).

O principal objetivo do *design* higiênico é prevenir a contaminação dos produtos durante seu processamento, uma vez que um *design* inadequado pode dificultar a limpeza e permitir que resíduos sejam retidos em fendas, ranhuras ou áreas mortas, contaminando os produtos (MARIOT, 2010).

O *design* higiênico também beneficia as indústrias alimentícias, pois aumenta o valor agregado de seus produtos, permite a exportação gerando uma vantagem competitiva, garante a qualidade e a segurança dos alimentos, desenvolve um processo mais eficiente, reduz custos (tempo de limpeza e manutenção) e possibilidade de comprovação da qualidade higiênica de seus produtos (ALLES E DUTRA, 2011).

Na União Europeia e Estados Unidos existem algumas diretrizes e normas no que diz respeito aos requisitos gerais e específicos do *design* higiênico, dentre eles os principais são publicados por: EHEDG (*European Hygienic Engineering & Design Group*), AMI EDTF (*American meat Institute – Equipment Design Task Force*), 3-A Sanitary Standards e NSF International.

Na legislação brasileira não existem documentos específicos sobre o assunto, onde é possível apenas citar documentos que exigem equipamentos com formato/desenho, montagem e materiais que não favoreçam o desenvolvimento microbiológico, porém não de forma clara e específica sobre como aplicar na prática ou que determine exatamente o que é ou não adequado.

Dentre as normas brasileiras existe a Portaria n° 326 de 1997, a Portaria n° 368 de 1997, RDC n° 91 de 2001 e RDC n° 275 de 2002.

A Portaria n° 326, de 30 de julho de 1997 da ANVISA e sua análoga, Portaria n° 368, de 04 de setembro de 1997 do MAPA, se baseiam na Resolução MERCOSUL GMC, n° 80/96 e dispõem sobre condições higiênico-sanitárias e de boas práticas de fabricação para estabelecimentos produtores/industrializadores de alimentos.

Por sua vez, a RDC n° 275, de 21 de outubro de 2002 da ANVISA determina uma lista de verificação aplicada as Boas Práticas de Fabricação em estabelecimentos produtores/industrializadores de alimentos. É possível também contemplar a RDC n° 91, de 11 de maio de 2001.

A Tabela 2 ilustra as normas com sua respectiva relevância para o presente trabalho:

Tabela 2 – Normas regulamentadoras do design higiênico no Brasil.

Norma	Órgão regulamentador	Relevância para o Design Higiênico
Portaria n° 326 / 1997	ANVISA	<p>Dispõe sobre condições higiênico-sanitárias e de boas práticas de fabricação para estabelecimentos produtores/industrializadores de alimentos e exige:</p> <p>5.4.1 – Materiais: Todo o equipamento e utensílio utilizado nos locais de manipulação de alimentos que possam entrar em contato com o alimento devem ser confeccionados de material que não transmitam substâncias tóxicas, odores e sabores que sejam não absorventes e resistentes à corrosão e capaz de resistir a repetidas operações de limpeza e desinfecção. As superfícies devem ser lisas e estarem isentas de rugosidade e frestas e outras imperfeições que possam comprometer a higiene dos alimentos ou sejam fontes de contaminação. Deve evitar-se o uso de madeira e de outros materiais que não possam ser limpos e desinfetados adequadamente, a menos que se tenha a certeza de que seu uso não será uma fonte de contaminação. Deve ser evitado o uso de diferentes materiais para evita o aparecimento de corrosão por contato.</p> <p>5.4.2 – Projetos e construção: Todos os equipamentos e utensílios devem ser desenhados e construídos de modo a assegurar a higiene e permitir uma fácil e completa limpeza e desinfecção e, quando possível, devem ser instalados de modo a permitir um acesso fácil e uma limpeza adequada, além disto devem ser utilizados exclusivamente para os fins a que foram projetados.</p>
Portaria n°368 / 1997	MAPA	<p>Dispõe sobre condições higiênico-sanitárias e de boas práticas de fabricação para estabelecimentos produtores/industrializadores de alimentos e exige:</p> <p>4.4.1 – Materiais: Todo o equipamento e utensílio utilizado nos locais de manipulação de alimentos que possam entrar em contato com o alimento devem ser confeccionados de material que não transmitam substâncias tóxicas, odores e sabores que sejam não absorventes e resistentes à corrosão e capaz de resistir a repetidas operações de limpeza e desinfecção. As superfícies devem ser lisas e estarem isentas de rugosidade e frestas e outras imperfeições que possam comprometer a higiene dos alimentos ou sejam fontes de contaminação. Deve evitar-se o uso de madeira e de outros materiais que não possam ser limpos e desinfetados adequadamente, a menos que se tenha a certeza de que seu uso não será uma fonte de contaminação. Deve ser evitado o uso de diferentes materiais para evita o aparecimento de corrosão por contato.</p> <p>4.4.2 – Projetos e construção: Todos os equipamentos e utensílios devem ser desenhados e construídos de modo a assegurar a higiene e permitir uma fácil e completa limpeza e desinfecção e, quando possível, devem ser instalados de modo a permitir um acesso fácil e uma limpeza adequada, além disto devem ser utilizados exclusivamente para os fins a que foram projetados.</p>
RDC n° 91 / 2001	ANVISA	Regulamenta os critérios gerais para embalagens e equipamentos em contato com os alimentos durante todas as etapas do processo.
RDC n° 275 / 2002	ANVISA	Determina uma lista de verificação aplicada as Boas Práticas de Fabricação em estabelecimentos produtores/industrializadores de alimentos. Esta resolução exige: equipamentos com desenho e número adequado ao ramo, disposto de forma a permitir fácil acesso e higienização adequada; superfícies em contato com alimentos lisas, íntegras, impermeáveis, resistente à corrosão, de fácil higienização e de material não contaminante.

Fonte: Portaria n° 326 de 1997, Portaria n° 368 de 1997, RDC n° 91 de 2001 e RDC n° 275 de 2002.

Ademais, a Norma Técnica NBR ISO 14159:2010 da ABNT especifica os requisitos de

higiene para máquinas, sendo aplicável a todos os tipos de máquinas e equipamentos utilizados em aplicações onde podem ocorrer riscos higiênicos ao consumidor do produto.

Dentre as exigências atreladas ao design higiênico de equipamentos é possível citar os materiais de construção/fabricação, textura da superfície, drenagem, ausência de áreas mortas, ângulos internos, cantos, ranhuras, juntas, selos, anéis de vedação, válvulas, fixadores, tampas e aberturas, etc. (ALLES E DUTRA, 2011).

Equipamentos e utensílios na indústria de alimentos

Os materiais utilizados devem atender algumas exigências específicas quanto a resistência à abrasão, prevenir a penetração e acúmulo de materiais indesejáveis e ser de fácil limpeza e desinfecção, devendo ser resistentes à corrosão (tanto com relação aos produtos quanto aos detergentes e desinfetante), ser atóxicos, mecanicamente estáveis e resistentes às temperaturas de processamento e tratamento térmico quando aplicável (ALLES E DUTRA, 2011).

Metais como chumbo, arsênio, cádmio, mercúrio, entre outros, não devem entrar em contato com os alimentos devido a sua toxicidade, assim como revestimentos de zinco não são recomendados. Alumínio geralmente não é resistente à corrosão e por isso deve ser igualmente evitado (ALLES E DUTRA, 2011).

Segundo Fonseca (2011), o material mais satisfatório para ser utilizado é o aço inoxidável, pois atende a todos os requisitos do *design* higiênico, como fácil limpeza, pouca rugosidade, inerte, etc. O mais utilizado nas indústrias é o aço inoxidável cromo-níquel, com adição de molibdênio em casos específicos.

Singh (2015) ressalta que alguns materiais devem ser evitados, como por exemplo:

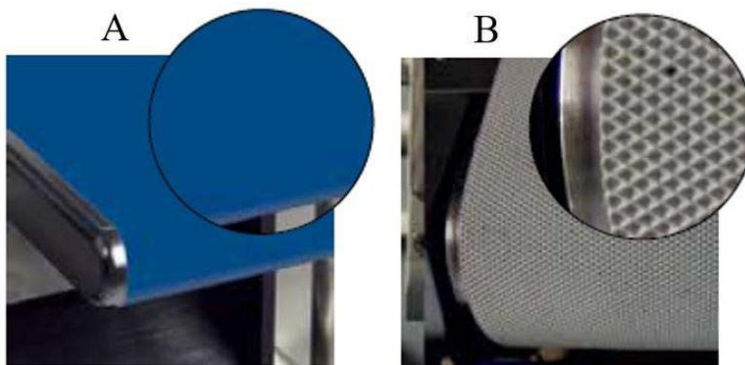
- Vidro: deve ser substituído por materiais poliméricos. Caso sua utilização seja indispensável, deve-se utilizar um tipo de vidro claro, resistente ao calor e à quebra;
- Madeira: este tipo de material pode soltar lascas e farpas, além de acúmulo de umidade e possuir superfície extremamente porosa, promovendo a proliferação de microrganismos;
- Tecidos: os tecidos são materiais porosos, que acumulam umidade e carga microbiana, podendo também soltar fibras desfiadas;
- Superfícies pintadas: a tinta da superfície pode se soltar após a aplicação de detergentes ou desinfetantes mais poderosos, fazendo com que resíduos de tinta entrem em contato com o produto.
- Plásticos: só devem ser utilizados em algumas situações específicas, contudo alguns plásticos possuem superfície porosa, podendo absorver constituintes do produto, permitindo o acúmulo de microrganismos;
- Borrachas: assim como os plásticos, só deve ser utilizado em determinadas situações, uma vez que podem ser danificados por compressões mecânicas ou térmicas excessivas.

Existem ainda materiais tratados com substâncias antimicrobianas, contudo não substi-

tuem o *design* higiênico, uma vez que os microrganismos podem criar resistência a esses produtos químicos após certo período. Outro ponto a ser levado em consideração é que este tipo de tratamento só é eficiente se o microrganismo entrar diretamente em contato com o produto, sendo assim, se o produto estiver coberto por sujidades não irá agir como um desinfetante (ALLES E DUTRA, 2011).

A Figura 4 a seguir exemplifica duas situações demonstrativas de prática favorável e prática desfavorável.

Figura 4 – Exemplos de esteiras industriais com dois tipos de revestimento. Em A é possível observar uma esteira revestida em plástico, possuindo superfície lisa e de fácil limpeza. Em B uma esteira de tecido, com superfície rugosa, podendo acumular umidade, matéria orgânica e microrganismos.



Fonte: Adaptado de Mettler Toledo (2016).

Textura

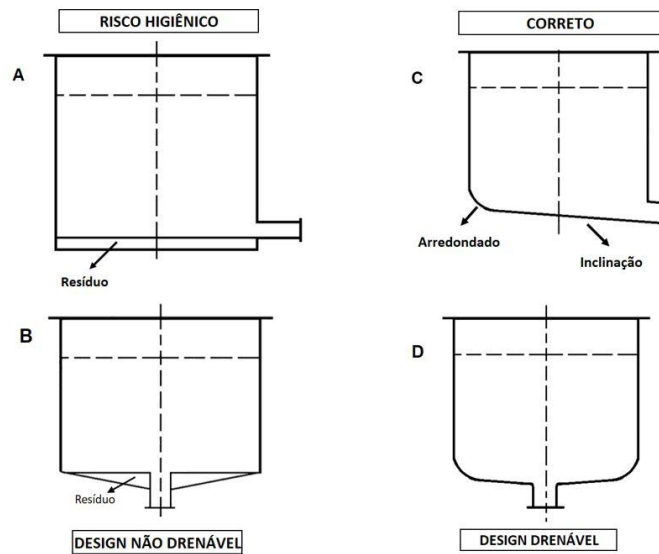
As superfícies dos equipamentos que entram em contato com o produto devem possuir um acabamento com rugosidade aceitável e estar livre de imperfeições como pites, rugas e trincas, que permitem o acúmulo de partículas. As superfícies devem ser lisas, contínuas e seladas, de modo a facilitar a limpeza e desinfecção (ALLES E DUTRA, 2011).

A rugosidade de uma superfície normalmente é expressa em μm e definida como R_a . Áreas grandes devem possuir rugosidade $R_a = 0,8 \mu\text{m}$, ou menor. Uma superfície com rugosidade $R_a > 0,8 \mu\text{m}$ é considerado aceitável se for possível a comprovação através de testes de que o nível de higienização adequado pode ser atingido. Aço laminado a frio possui rugosidade $R_a = 0,2$ a $0,5 \mu\text{m}$ e, conseqüentemente, não é necessário que este material passe por procedimentos de polimento para cumprir requisitos de acabamento de superfície, desde que esteja livre de imperfeições em sua forma final (ALLES E DUTRA, 2011).

Drenagem

Os equipamentos devem ser desenhados de forma a evitar acúmulo de produto e resíduos durante seu funcionamento, que possa permitir o crescimento de bactérias. Devem ser projetados de maneira que seja auto drenável, com as bordas arredondadas ou com inclinação de 45° . Superfícies planas que sejam de difícil acesso ou limpeza devem ser evitadas (Figura 5) (METTLER TOLEDO, 2016).

Figura 5 - Capacidade de drenagem dos equipamentos. Em A e B os orifícios de drenagem ficam acima do nível inferior do equipamento, incapacitando sua total drenagem. Em C e D a drenagem do equipamento é total, pois há uma ligeira inclinação para o orifício de drenagem, observa-se também cantos arredondados, evitando o acúmulo de resíduos.

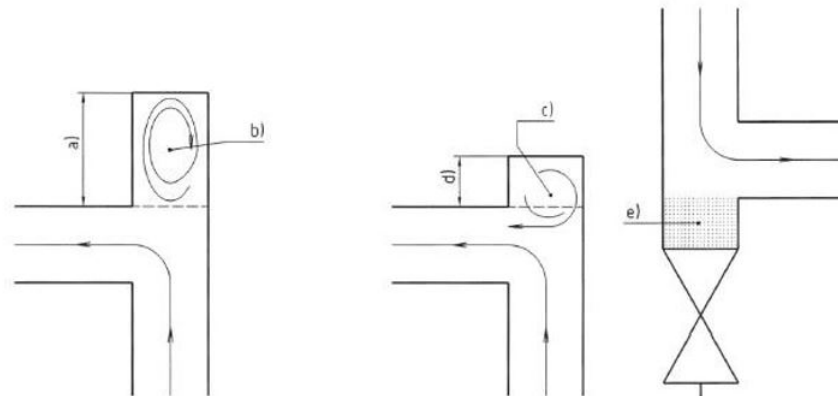


Fonte: Adaptado de Fonseca (2011).

Áreas mortas

As áreas mortas, também denominada como zona morta ou espaço morto, são espaços em que ocorre o acúmulo de produto, como cantos e arestas, portanto estes devem ser evitados, como mostra a Figura 6:

Figura 6 - a) Prolongamento muito longo; b) Espaço morto: troca insuficiente com fluxo principal; c) Troca suficiente com fluxo principal; d) Prolongamento curto; e) Espaço morto pode ser drenado. NOTA: O comprimento aceitável do prolongamento do espaço morto depende principalmente da viscosidade, velocidade e direção do fluxo.



Fonte: Alles e Dutra (2011).

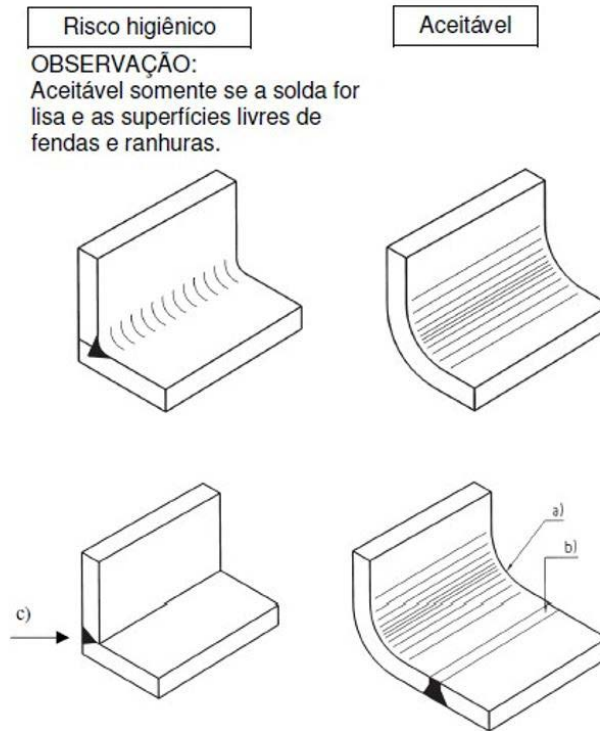
No caso de, por razões técnicas, ser inevitável, estas deverão ser acessíveis para permitir sua drenagem e limpeza adequada.

Ângulos internos, cantos e ranhuras

Segundo Alles e Dutra (2011), os ângulos internos devem ser maiores que 90° e arredondados sempre que possível, com raio maior que 3,0 mm. Raios menores somente serão permitidos se, por razões de engenharia e processo, não houver outra solução. Caso aconteça, é necessário que possuam limpeza facilitada.

As soldas devem ser realizadas na superfície plana do equipamento, e não nos cantos, devido à dificuldade de acesso e limpeza (Figura 7). As ranhuras, quando utilizadas, devem ser arredondadas ($R > 3,0$ mm) e mais largas que profundas.

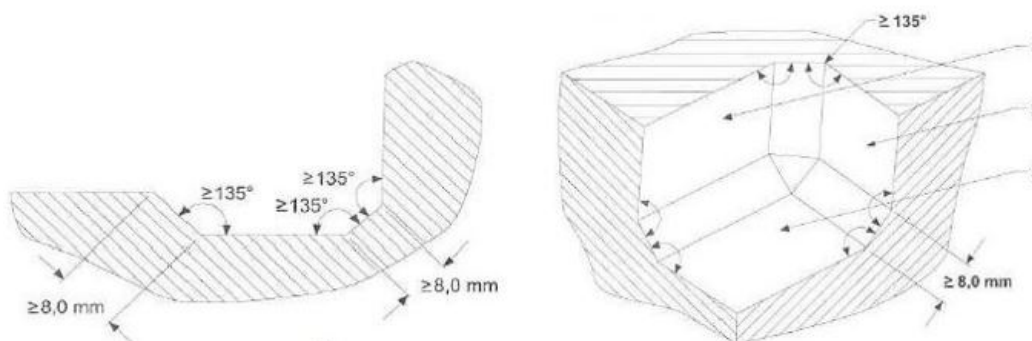
Figura 7 – Ângulos internos e cantos. Onde: a) $R_{min} = 3,0$ mm. A facilidade de limpeza aumenta quando $R = 20$ mm; b) Solda de topo e dobramento posterior (solda na área plana e não nos cantos) – produz uma superfície lisa; c) Produto em contato com a fresta, solda em ângulo reto.



Fonte: Alles e Dutra (2011).

Com relação aos cantos não arredondados, é permitido desde que exista um ângulo maior que 135° entre as superfícies, assim como a distância entre os cantos deve ser maior que 8,0 mm (Figura 8).

Figura 8 – Ângulos e cantos entre superfícies.



Fonte: Alles e Dutra (2011).

Demais requisitos

Dentre outras exigências, é recomendável que o número de juntas seja minimizado, porém quando inevitável é recomendável que exista um alinhamento coaxial no acoplamento entre duas tubulações, seja isento de trincas, haja espaço para expansão térmica e sejam evitadas

arestas. Os selos, gaxetas, anéis de vedação e juntas devem ser de fácil higienização e projetados de tal forma que minimize o contato com o alimento. Além disso, devem ser consideradas as expansões e contrações térmicas. Fluidos lubrificantes e hidráulicos devem ser aplicados de modo que não entre em contato com os alimentos, assim como os equipamentos devem ser projetados de tal modo a fim de evitar que isto ocorra. No entanto, estes fluidos devem ser de grau alimentício e não-tóxicos, em casos onde possam ocorrer falhas que resultem em contato acidental dos mesmos com o produto. Parafusos, roscas e rebites devem ser evitados, porém quando inevitável, devem ser instalados de tal modo seja possível sua higienização. Botões e interruptores devem ser de fácil acesso, construídos com material adequado e de fácil limpeza. Portas, tampas e painéis de acesso deverão ser projetados de tal forma que evite o acúmulo de resíduos (ALLES E DUTRA, 2011).

A localização dos equipamentos em relação ao pavimento, paredes, teto, dentre outros, tem influência no nível de higiene e segurança alimentar, uma vez que a existência de um espaço reduzido entre os equipamentos ou destes e o pavimento, podem dificultar a limpeza e inspeção de determinadas áreas (FONSECA, 2011).

METODOLOGIA

Para elaboração do presente estudo a abordagem metodológica utilizada foi uma revisão bibliográfica, no qual foi realizada uma busca online de literatura científica nos bancos de dados da *Scientific Electronic Library Online* (Scielo), *Wiley Online Library*, *Science Direct* (Elsevier) e no Google Acadêmico nos idiomas português e inglês entre os anos 2000 e 2022 para as seguintes palavras chave, nos referidos idiomas, “design higiênico”, “segurança alimentar”, “biofilmes”, “qualidade na indústria de alimentos”, “*Clean-In-Place*”, “higienização industrial”, “APPCC”, “Boas Práticas de Fabricação” e “contaminação”, combinados ou não.

Todos os artigos encontrados foram pré-selecionados e em seguida, fez-se uma leitura exploratória com o objetivo de verificar se atendiam aos critérios de inclusão estabelecidos. Os artigos foram lidos na íntegra de forma a serem utilizados como referencial e marco teórico para a discussão e ampliação dos conceitos sobre o tema abordado no estudo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Visto os problemas que os biofilmes causam para as indústrias de alimentos, afetando a qualidade de seus produtos, além da dificuldade de eliminar estes microrganismos planctônicos, é possível concluir que estratégias preventivas são essenciais para evitar inúmeros problemas relacionados a estes. O conhecimento sobre as etapas de higienização e dosagem correta dos produtos relacionados aos equipamentos, superfícies e meio ambiente são aspectos importantes a serem levados em consideração. O treinamento dos funcionários é outro aspecto essencial, pois são eles os maiores responsáveis pela aplicação das boas práticas, portanto treinamento e conscientização são fundamentais para a garantia da qualidade.

Nos estudos de Clüsserath (2010) e Gaceu (2017) são realizadas validações e demonstradas ações práticas de como o design higiênico pode ser bem-sucedido.

Com foco na prevenção, o design higiênico, associado a uma limpeza CIP com produtos em concentrações adequadas, pode ser considerado um ponto chave no sucesso da limpeza de equipamentos e utensílios, reduzindo (porém não eliminando) os esforços com aplicação de produtos químicos caros e tempos de limpeza demasiados longos, perdendo disponibilidade do equipamento, além do atendimento aos requisitos legais. Portanto o atendimento às exigências para o projeto de equipamentos auxiliará na garantia da qualidade, segurança, desempenho e confiabilidade das indústrias alimentícias.

REFERÊNCIAS

- ALLES, Maria Julia Ledur; DUTRA, Camila Costa. Design higiênico de máquinas para a indústria de alimentos e bebidas. Dossiê Técnico, SENAI, Centro de Excelência em Tecnologias Avançadas. Rio Grande do Sul, mai. 2011.
- ALVARENGA, Tiago Henrique de Paula. Cenário da Gestão da Qualidade nos Laticínios de Micro e Pequeno Porte da Região dos Campos Gerais no Paraná. Ponta Grossa, 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 14159:2010 Segurança das máquinas – Requisitos de higiene para o projeto das máquinas. Brasil, 12 abr. 2010.
- BAGGE-RAVN, Dorthe; NG, Yin; HJELM, Mette; CHRISTIANSEN, Jesper N.; JOHANSEN, Charlotte; GRAM, Lone. The microbial ecology of processing equipment in different fish industries- analysis of the microflora during processing a following cleaning and disinfection. Int J Food Microbiol, v. 87, n. 3, p. 239 – 250, nov. 2003.
- BERTI, Rita C.; SANTOS, Daniela Carvalho. Importância do controle de indústria alimentícia: prováveis medidas para evitar a poluição de qualidade de limpeza em bebida UHT. Atas de Ciências da Saúde, ISSN 2448-3753, v. 4, n.1, p. 23 – 38, 2016.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 368, de 04 de setembro de 1997. Diário Oficial da União, Brasília, 08 set. 1997. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-animal/empresario/Portaria_368.1997.pdf/view>. Acesso em: 26 mar. 2023.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. ANVISA. RDC nº 91, de 11 de maio de 2001. Diário Oficial da União, Brasília, 13 jun. 2001. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/biblioteca-de-normas-vinhos-e-bebidas/resolucao-rdc-no-91-de-11-de-maio-de-2001.pdf/view>>. Acesso em: 26 mar. 2023.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. ANVISA. Resolução RDC nº 275, de 21 de outubro de 2002.
- Diário Oficial da União, Brasília, 06 nov. 2002. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/biblioteca-de-normas-vinhos-e-bebidas/resolucao-rdc-no-275-de-21-de-outubro-de-2002.pdf/view>>. Acesso em: 26 mar. 2023.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. ANVISA. Resolução RDC nº 20, de 22 de março de 2007.
- Diário Oficial da União, Brasília, 26 mar. 2007. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/biblioteca-de-normas-vinhos-e-bebidas/resolucao-rdc-no-20-de-22-de-marco-de-2007.pdf/view>>. Acesso em: 26 mar. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Surtos de Doenças de Transmissão Hídrica e Alimentar no Brasil. Informe 2022, Secretaria de Vigilância em Saúde, jan. 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. ANVISA. Portaria nº 326, de 30 de julho de 1997. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 01 ago. 1997. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/svs/1/1997/prt0326_30_07_1997.html>. Acesso em: 26 mar. 2023.

BREMER, Philip J.; FILLERY, Suzanne; QUILLAN, A. James Mc. Laboratory scale Clean-In-Place (CIP) studies on the effectiveness of different caustic and acid wash steps on the removal of dairy biofilms. *International Journal of Food Microbiology*, n. 106, p. 254 – 262, 2006.

BRUM, Jaime Victor Ferreira. Análise De Perigos E Pontos Críticos De Controle Em Indústria De Laticínios De Curitiba – PR. Curitiba, 2004. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos), Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

CLÜSSERATH, L. Spotlight on simplicity: hygienic design in filling technology. *Fruit Processing*, v. 20, n. 2, p. 66-71, 2010.

CODEX ALIMENTARIUS. Purpose of the Codex Alimentarius. Disponível em: < <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/about-codex/en/>>. Acesso em: 29 de set. 2022.

CROSBY, Philip B. Qualidade é investimento. São Paulo, José Olympio Editora, 1983.

DEMING, W. Edwards. Qualidade: a revolução da administração. Rio de Janeiro: Marques Saraiva, 1990.

DUTRA, Mariana Nunes. Implementação da Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC) em Indústrias de Farinhas e Pré-misturas. Porto Alegre, 2017. Monografia (Graduação em Engenharia de Alimentos), Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

FEIGENBAUM, Armand V. Controle da qualidade total. São Paulo: Makron Books, 1994.

FOOD SAFETY BRAZIL. Biofilmes na indústria de alimentos: como eliminá-los? Out. 2019. Disponível em: <<https://foodsafetybrazil.org/biofilmes-prejuizos-na-industria-de-alimentos-e-como-sanar-este-problema/>>. Acesso em: 25 de mar. 2023.

FONSECA, André Miguel Tavares Viera da. Introdução ao Design Higiênico de Instalações e Equipamentos para a Indústria Alimentar. Porto, 2011. Relatório de estágio (Mestrado Integrado em Medicina Veterinária), Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar, Universidade do Porto.

FREITAS, Valdionir da Rosa; SAND, Sueli Teresinha van der; SIMONETTI, Amauri Braga. Formação in vitro de biofilme por *Pseudomonas aeruginosa* e *Staphylococcus aureus* na superfície de canetas odontológicas de alta rotação. *Revista de odontologia da UNESP. Araraquara*, n. 39, v. 4, p. 193 – 200, jul./ago. 2010.

GACEU, L. Assessment method for hygienic design in food industry: water drainage and water saving study case. *Journal of EcoAgriTourism*, v. 13, n. 2, p. 53-56, 2017.

GARVIN, D. A. Gerenciando a qualidade: a visão estratégica e competitiva. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 1992.

GUIMARÃES, Tássia Gomes. Determinação de Pontos Críticos de Controle (PCC's) em Indústrias de Laticínios. Porto Alegre, 2012. Monografia (Graduação em Medicina Veterinária), Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

GUNDUZ, Gulten T.; TUNCEL, Gunnur. Biofilm formation in an ice cream plant. *Antonie Van Leeuwenhoek*, v. 89, p. 329 – 336, 2006.

GUÐBJÖRNSDÓTTIR, Birna; EINARSSON, Hjalmar; THORKESSON, Gudjon. Microbial adhesion to processing lines for fish fillets and cooked shrimp: influence of stainless-steel surface finish and presence of Gram-Negative bacteria on the attachment of *Listeria monocytogenes*. *Food Technology and Biotechnology*, v. 43, n. 1, jan. 2005.

ISHIKAWA, Kaoru. Diagrama Causa-Efeito. Recuperado em, v. 15, 1943.

ISO. ISO 9000 Family: Quality Management. Disponível em: <<https://www.iso.org/iso-9000-quality-management.html>>. Acesso em: 24 set. 2022.

IST. Grupo de Ciências Biológicas do Instituto superior técnico. Universidade técnica de Lisboa. Crescimento microbiano em biofilmes. 2005.

JACKSON, Lauren S.; AL-TAHER, Fadwa M.; MOORMAN, Mark; DeVRIES, Jonathan W.; TIPPETT, Roger; SWANSON, Katherine M. J.; FU, Tong-Jen; SALTER, Robert; DUNAIF, George; ESTES, Susan; ALBILLOS, Silvia; GENDEL, Steven M. Cleaning and Other Control and Validation Strategies to Prevent Allergen Cross-Contact in Food Processing Operations. *Journal of Food Protection*, v. 71, n. 2, p. 445 – 458, 2008.

JURAN, J. M. *Juran on Leadership for Quality: An Executive Handbook*. New York: Free Press, 1989.

MACHADO, Helda Natália Santos; OLIVEIRA, Gerlon de Almeida Ribeiro; OLIVEIRA, Leandra de Almeida Ribeiro. Validação de Limpeza na Indústria Farmacêutica: Revisão. *Revista Desafios*, v. 9, n. 2, p. 201 – 209, 2022.

MARIOT, Roberta Fogliatto. Avaliação do Design Higiênico de Equipamentos que Contribuem para Contaminação de Carcaças na 1ª Etapa de Abate de Suínos. Porto Alegre, 2010. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola), Programa de Pós-Graduação Microbiologia Agrícola e do Ambiente, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MAZAHARI, Tina; CERVANTES-HUAMÁN, Brayan R. H.; BERMÚDEZ-CAPDEVILA, Maria; RIPOLLES-AVILA, Carolina; RODRÍGUEZ-JEREZ, José Juan. *Listeria monocytogenes* Biofilms in the Food Industry: Is the Current Hygiene Program Sufficient to Combat the Persistence of the Pathogen? *Microorganisms*, v. 9, n. 181, 2021.

METTLER TOLEDO. Reduza os custos operacionais com equipamentos com Design Higiênico. White Paper, 2016.

NASCECME. Biofilme: O Inimigo Invisível. Nascecme. Disponível em: <<http://nascecme.com.br/biofilme-o-inimigo-invisivel/>>. Acesso em: 12 out. 2022.

OLIVEIRA, Maira Maciel de; BRUGNERA, Danilo Florisvaldo; PICCOLI, Roberta Hilsdorf. Biofilmes Microbianos na Indústria de Alimentos: Uma revisão. *Ver. Inst. Adolfo Lutz*. São Paulo, v. 69, n. 3, p. 277-284, 2010.

PALADINI, E. P. *Gestão da Qualidade no Processo: a produção de bens e serviços*. São Paulo: Atlas, 1995.

PAULA, Fábio Martins de. Otimização do Sistema Clean in Place em Esterilizadores de Produtos Lácteos. Rio Verde, 2016. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos), Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

PAVÃO, Danilo P.; MORAES, Francielle Costa; RIBEIRO, Brendha L. Moreira; COSTA, Flávio G. Rodrigues; CAMARA, Marcos B. Pinheiro. Capacidade de formação de biofilme por cepas bacterianas e ação antibiofilme do extrato de *Lafoesia pacari* (Lythraceae). *Revista Fitos*, v. 15, n. 2, p. 153 – 165,

jun. 2021.

ROSSI, Ana C. R.; PORTO, Ernani. A importância da elaboração de procedimentos de higienização considerando a presença de biofilmes. *Sociedade Brasileira de Controle de Contaminação*, p. 40 – 41, mar./abr. 2009.

SALGADO, Thiago M. V.; ALCÂNTARA, Lohane O.; CARVALHO, Marcela S. M.; HORA, Iracema Maria de Carvalho da. APPCC: Uma Ferramenta da Gestão da Segurança de Alimentos. *Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente*, v. 1, n. 7, p. 90 – 107, 2020.

SANTOS, Aline Pereira dos. Fatores de risco que contribuem para a formação de biofilme em indústria de laticínios. Belo Horizonte, 2018. Monografia (Pós- Graduação em Microbiologia), Instituto de Ciências Biológicas, Universidade federal de Minas Gerais.

SHARMA, Manvi; ANAND, S. K. Biofilms evaluation as an essential component of HACCP for food/dairy processing industry – a case. *Dairy Microbiology Division. Food Control*, v. 13, p. 469 – 477, 2002.

SINGH, R. Paul. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. São Paulo: Editora Manole Ltda, cap. 10, 2015.

SIQUEIRA, Iara Nunes; LIMEIRA, Clécio Henrique; CAVALCANTI, Aline A. C.; SOUZA, Joyce Galvão de; AZEVEDO, Sérgio Santos; MELO, Márcia Almeida de; FREIRE, Daneelly H. F. Bactérias formadoras de biofilmes na indústria de laticínios: uma breve revisão. *Ensaio e Ciência*, v. 25, n. 4, p. 491 – 500, 2021.

SMOOT, L. Michele; PIERSON, Merle D. Effect of environmental stress on the ability of *Listeria monocytogenes* Scott A to attach to food contact surfaces. *Journal of Food Protection*, v. 61, n. 10, p. 1293 – 1298, oct. 1998.

THOMAS, Amitha; SATHIAN, Thomas. Cleaning-In-Place (CIP) System in Dairy Plant– Review. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology (IOSR – JESTFT)*, v. 8, n. 6, ver. 3, p. 41 – 44, jun. 2014.

TREMBLAY, Yannick D. N.; HATHROUBI, Skander; JACQUES, Mario. Les biofilms bactériens: leur importance em santé animale et em santé publique. *Can J Vet Res*, v. 78, n. 2, p. 110 – 116, apr. 2014.

WENG, Xuan; NIEKERK, Jan Van; NEETHIRAJAN, Suresh; WARRINER, Keith. Characterization of antimicrobial efficacy of photocatalytic polymers against food- borne biofilms. *LWT - Food Science and Technology*, p. 68, 2016.



Avaliação de mudas de cacaueteiro submetidas à fertirrigação com biofertilizantes no município de Altamira, Pará

Evaluation of cocoa seedlings submitted to fertirrigation with biofertilizers in the municipality of Altamira, Pará

Karina Tayná Saraiva de Jesus

Graduanda de Engenharia Agrônômica (Universidade Federal do Pará)

lattes.cnpq.br/7009612396691801

Glendha Thalyssia Farias de Sousa

Graduanda de Engenharia Agrônômica (Universidade Federal do Pará)

lattes.cnpq.br/0921177161097430

Vivian Dielly da Silva Farias

Professora Adjunto da Universidade Federal do Pará-Campus Altamira

lattes.cnpq.br/0775979770122595

Raiane Gomes Apostolo de Santana

Graduanda de Engenharia Agrônômica (Universidade Federal do Pará)

lattes.cnpq.br/4756288140517354

Maysa Lorrane Medeiros de Araújo

Mestranda em Consultoria e Gestão das Organizações com ênfase em Gerenciamento de Projetos (Universidad del Museo Social Argentino-UMSA)

lattes.cnpq.br/4206967958961138

DOI: 10.47573/ayd.5379.2.190.6

RESUMO

O sucesso de um cultivo de cacauzeiros depende da qualidade das mudas, para isso precisam de manejo da irrigação e adubação adequados. O presente trabalho teve o objetivo de avaliar o crescimento de mudas de cacauzeiro (*Theobroma cacao* L.) submetidas a fertirrigação com biofertilizantes a base de chorume diluído em quatro dosagens (T2: 25%, T3: 50%, T4: 75% e T5: 100%) e quatro dosagens de biofertilizante de esterco bovino e manipueira (T6:25%, T7: 50%, T8: 75% e T9: 100%) e um tratamento Testemunha T1:0% (água). Os parâmetros avaliados foram número de folhas, diâmetro do caule, altura das plantas, massa fresca da parte aérea, massa fresca e seca das raízes. Os dados coletados foram submetidos à análise de variância (teste F), e teste Scott Knott ao nível de 5%. As variáveis alturas de plantas e número de folhas responderam satisfatoriamente à aplicação do biofertilizante a base de esterco bovino e manipueira. Apresentando os maiores valores das variáveis nas dosagens de 75% e 100% desse biofertilizante.

Palavras-chave: *Theobroma cacao* L. chorume e esterco bovino.

ABSTRACT

The success of a cocoa plantation depends on the quality of the seedlings, for which they need proper irrigation and fertilization management. The present research aimed to evaluate the growth of cocoa seedlings (*Theobroma cacao*) submitted to fertirrigation with biofertilizers based on manure diluted in four dosages (T2: 25%, T3: 50%, T4: 75% and T5: 100 %) and four dosages of bovine manure and manipueira biofertilizer (T6: 25%, T7: 50%, T8: 75% and T9: 100%) and a control treatment T1: 0% (water). The evaluated parameters were number of leaves, stem diameter, plant height, fresh mass of shoots, fresh and dry mass of roots. The collected data were submitted to analysis of variance (F test), and Scott Knott test at the 5% level. The variables plant height and number of leaves responded satisfactorily to the application of biofertilizer based on bovine manure and manipueira. Showing the highest values of the variables in the dosages of 75% and 100% of this biofertilizer.

Keywords: *Theobroma cacao* L. slurry and bovine manure.

INTRODUÇÃO

O cacauzeiro possui grande relevância socioeconômica em todo o mundo (GUIMARÃES *et al.*, 2022, p.1) e principalmente para região Norte do país. De acordo com o levantamento do IBGE (2022), o Pará se qualifica como maior produtor de cacau, e a estimativa da produção de 146,3 mil toneladas, e cerca de 80% dessa produção é derivada de pequenas propriedades, baseadas na agricultura familiar (AGÊNCIA PARÁ, 2022). Dando ênfase principalmente a região Transamazônica onde também está localizado o município de Medicilândia conhecido atualmente como “Capital Nacional do Cacau”.

O crescimento da cultura na região exige mudas cada vez mais resistentes e bem desenvolvidas, pois 60% do êxito de um cultivo comercial decorre da qualidade das mudas, assim, a utilização de mudas vigorosas, livres de pragas e doenças, é amplamente importante para que

o produtor tenha sucesso com a atividade frutícola.

Sendo assim, para o bom desenvolvimento, as mudas de cacau necessitam de certa quantidade de nutrientes para atender às suas demandas nutricionais durante a estação de crescimento. Para isso, ao invés de usar insumos sintéticos, poderia ser utilizado outros insumos como biofertilizantes adotando manejo orgânico para promover o aumento da produtividade com responsabilidade socioambiental, e assim, agregando valor às amêndoas de cacau por meio da produção de cacau orgânico e fino.

Os biofertilizantes são adubos orgânicos líquidos provenientes de um processo de decomposição da matéria orgânica através de fermentação anaeróbica ou aeróbica, assim podendo ser produzidos a partir de dejetos orgânicos, tornando-se uma alternativa econômica e sustentável para a agricultura, assim como, auxiliando nos descartes inadequados de dejetos orgânicos.

Tendo como exemplo os resíduos agropecuários esterco bovino, manipueira e resíduos orgânicos domésticos que quando descartados de forma incorreta podem gerar consequências ao meio ambiente, como emissão do gás metano e poluição dos solos e lençol freático (MATOS, *et al.*, 2017, p. 1958). A gestão sustentável desses resíduos orgânicos na agricultura é uma alternativa para reduzir os danos e agregar benefícios ao meio ambiente.

A fertirrigação bem manejada na produção de mudas de cacaueteiro poderá promover benefícios no uso da água e fertilizantes; maior flexibilidade no tempo de aplicação de insumos e ainda permitir um melhor crescimento vegetativo sem restrições hídricas e nutricionais, sendo assim, o objetivo desse trabalho é avaliar o crescimento de mudas de cacaueteiro submetidas a fertirrigação com biofertilizante a base de esterco bovino, manipueira e chorume.

MATERIAL E MÉTODOS

Local do experimento

O experimento foi conduzido do período de outubro de 2020 a fevereiro de 2021, em casa de vegetação com sombrite a 50%, na Universidade Federal do Pará, Campus de Altamira, sob as coordenadas geográficas 3°12' 36.0" Sul e 52°12' 36.0" W Oeste e altitude de 101.51 m (INMET, 2020). O clima da região é classificado como equatorial quente e úmido com três meses secos e apresenta precipitação pluviométrica média anual, variando entre 2000 mm e 2500mm (IBGE, 2018).

Definição dos tratamentos

Foram cultivadas 90 plântulas em Delineamento experimental Inteiramente Casualizado (DIC), com 9 tratamentos e 10 repetições, em que os tratamentos representaram os dois tipos de biofertilizantes e a testemunha que recebeu apenas água (T1:0%), quatro dosagens de biofertilizante de chorume (T2: 25%, T3: 50%, T4: 75% e T5: 100%) e quatro dosagens de biofertilizante de esterco bovino e manipueira (T6:25%, T7: 50%, T8: 75% e T9: 100%).

Preparo dos biofertilizantes

O biofertilizante de chorume, foi preparado em composteira, que era formada por três baldes padronizados e empilhados, os dois primeiros baldes serviram para depósito dos resíduos orgânicos, o último balde atuou como coletor do biofertilizante originado dos resíduos, o material utilizado foi proveniente de coleta de lixo orgânico doméstico.

O biofertilizante de esterco bovino e manipueira, foi preparado por meio da fermentação anaeróbica contendo esterco bovino fresco e manipueira na proporção de 50% água, 25% de esterco e 25% de manipueira, pelo tempo de 50 dias em recipiente plástico e na ausência de ar. Para se obter o sistema anaeróbio a mistura foi colocada em uma bombona plástica de 50 L ocupando 60% do espaço e fechada hermeticamente. Na tampa, foi adaptada uma mangueira com a outra extremidade mergulhada num recipiente com água na altura de 20 cm, para a saída de gases (PENTEADO, 2007, p. 162).

Os teores de nutrientes (N, P, K) presentes na composição dos biofertilizantes foram caracterizados por análise química (Tabela 1). A água potável, utilizada nas diluições, foi obtida através do sistema de abastecimento público que fornece água ao campus da UFPA.

Tabela 1- Análise química dos biofertilizantes realizada pelo Laboratório de Análise Agronômica e Ambiental – Fullin em Linhares-ES

Biofertilizantes	N	P	K
Esterco bovino g/L	0,95	0,8	1,8
Chorume g/L	0,8	0,4	3,2

Fonte: Os autores, 2023

Na fertirrigação, a quantidade de biofertilizante aplicado foi de acordo com a sugestão de Santos (1992), que recomenda a dose de 15 L m² por mês; com isso, a área do saco de polietileno era de 226,86 cm² foram fornecidos 108 ml do insumo por muda/mês, divididos em 4 aplicações de 27 ml. Durante o ciclo foram realizadas 22 aplicações por meio de uma seringa de uma solução fertirrigante (biofertilizante + água), diferenciada quanto à concentração do insumo orgânico.

Plantio

As sementes de *Theobroma cacao L.* utilizadas neste experimento foram adquiridas com produtor rural do município de Medicilândia/PA. A germinação ocorreu sob local sombreado, em substrato à base de serragem, com irrigação manual aplicada duas vezes ao dia por cinco dias até a formação das radículas. Em seguida o plantio foi realizado em copos descartáveis com o substrato composto pela mistura de solo antropizado, fibra de coco, arroz carbonizado, esterco bovino curtido, cascas de pinus e caroços de açaí triturados e areia lavada, que foi caracterizado quimicamente (Tabela 2).

Tabela 2- Análise química do substrato realizada pelo Laboratório de Análise Agronômica e Ambiental – Fullin em Linhares-ES

pH	P	K	S	Ca	Mg	Al	H+Al
5,8		g/L			g/L		
	0,011	0,28	0,021	0,0027	0,0012	0,0	0,0024

Fonte: Os autores, 2023

Os recipientes foram irrigados, manualmente, durante 14 dias após a semeadura, até atingir o estágio de “orelha de onça” (primeiro par de folhas totalmente aberto que surge após a emergência), quando foram transplantadas para os sacos de polietileno de 500 mL previamente identificados. O experimento foi irrigado de forma manual e localizado, a lâmina de irrigação foi definida pelo método da capacidade de campo substrato (EMBRAPA, 2017, p. 574).

Após o transplante foram realizadas avaliações do experimento a cada 15 dias, e coletados dados da altura da planta por meio de régua, diâmetro do caule via paquímetro, e quantidade de folhas. A análise estatística foi realizada em cada parâmetro, comparando os diferentes tratamentos em cada coleta. Os dados coletados foram tabelados em planilha de Excel e submetidos a estatística utilizando-se a análise de variância pelo teste de Scott Knott. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p > 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo a análise de variância (teste F), na tabela 3, a qual letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ao nível de 5%, que retratam os dados das sete coletas realizadas. É interessante observar que, a primeira coleta de dados do experimento, ocorreram diferenças consideráveis no diâmetro do caule apenas entre os biofertilizantes de chorume (BCH) e biofertilizante de esterco bovino e manipueira (BEBM), apontando que os biofertilizantes orgânicos exerceram impactos positivos sobre o desenvolvimento do caule das plantas com 15 (DEC).

Contudo, os dados referentes a altura da planta e número de folhas não obtiveram diferenças relevantes na primeira coleta. Logo indica que, no estágio inicial de desenvolvimento das mudas, os biofertilizantes não proporcionaram influência sobre a altura das plantas e número de folhas.

Aos 30 dias, foi realizada a segunda coleta que revelaram que o crescimento do diâmetro do caule permaneceu contínuo. Indicando que os dois biofertilizantes favoreceram o desenvolvimento do caule das plantas. Na mesma coleta observou-se que, a altura das plantas dos tratamentos à base de BEBM obtiveram mais evidências das demais.

Dados que indicam que o BEBM possivelmente teve um efeito benéfico sobre o crescimento vertical das plantas em comparação aos outros tratamentos. Saliendo que o BEBM pode estar concedendo nutrientes essenciais e possibilitando a expansão do sistema radicular das plantas, ocasionando no desenvolvimento da altura.

Quanto ao número de folhas, os dados descreveram crescimento constante em todas as dosagens, mostrando que os biofertilizantes utilizados estão auxiliando para o desenvolvimento e crescimento de novas folhas nas plântulas. Essas respostas indicam que os biofertilizantes aplicados estão desenvolvendo função significativa no crescimento das plantas.

Por seguinte, na terceira coleta os dados da altura da planta apontam que o BEBM na dosagem de 100%, promoveram mais eficiência na altura da planta que as demais dosagens. Isso propõe que a mesma proporcionou efeito positivo no crescimento da altura das plantas em paralelo as menores dosagens.

Em relação ao número de folhas, notou-se um aumento expressivo no desenvolvimento

durante a terceira coleta, e destacaram-se os tratamentos 7, 8 e 9, que corresponderam às dosagens de 50%, 75% e 100% de biofertilizante de esterco bovino e manipueira. Desse modo, os resultados sugerem que a dosagem de 100% de BEBM, manifesta maior eficácia tanto para o crescimento em altura, quanto para o aumento do número de folhas das plantas estudadas.

Isso ocorreu, pois, o BEBM possuía uma maior quantidade de Nitrogênio disponível para as plantas, sendo um macronutriente que acentua as características foliares e o crescimento da planta. Silva *et al.*, (2014) em concordância com Monegasso *et al.*, (2011), conceituaram que o nitrogênio (N) é um macronutriente que compõe os aminoácidos, ácidos nucleicos, proteínas, membranas e inúmeros hormônios vegetais que influenciam no crescimento vegetativo e estimulam o crescimento das gemas floríferas, frutificação e o teor de proteínas.

Com base nas informações fornecidas pela análise, as plântulas do tratamento com BCH, apresentaram um comportamento no diâmetro do caule semelhante às plântulas de menor dosagem de BEBM 25%, após 60 dias em campo. Esse resultado semelhante pode sugerir que ambos fertilizantes forneceram uma quantidade semelhante de nutrientes para as plantas nesse estágio em campo.

As dosagens de 75% e 100% de BEBM tiveram um impacto positivo no crescimento das plantas na quarta coleta, sendo que as dosagens mais elevadas desse biofertilizante resultaram em um maior crescimento da altura das plantas em comparação as dosagens mais baixas. Além disso, percebeu-se que o número de folhas das plantas também demonstrou diferenças significativas entre os diferentes tratamentos.

Informações indicam que o uso de dosagens mais elevadas de BEBM, promovem um crescimento vigoroso e aumento no número de folhas das plantas, pois, podem estar relacionados com a concentração de P no biofertilizante, Vieira *et al.* (2023) destacou que o P no metabolismo da planta está associado a processos como a fotossíntese, a respiração, a divisão e o crescimento celular e a transferência de energia como parte do trifosfato de adenosina (ATP) além de proporcionar o crescimento do sistema radicular.

Em relação a quinta coleta, com 75 dias em campo as mudas obtiveram resultados satisfatórios no diâmetro do caule com as dosagens de 75% e 100% de ambos os biofertilizantes, isso possivelmente ocorreu, pois, tais dosagens possuíam maiores concentrações de K que é um nutriente incluído na translocação do floema de assimilados, possibilitando melhor desenvolvimento da planta (LEBAUDY *et al.*, 2007).

Ocorreu também, um destaque na altura da planta nos tratamentos 8 e 9 de BEBM. França *et al.* (2017), analisou doses de nitrogênio no crescimento de porta-enxerto de goiabeira paluma amarela e constatou que as mudas submetidas as maiores dosagens de N possuíam maiores valores da relação altura/diâmetro. O número de folhas se destacou principalmente nas mudas com dosagem de 100% dos dois biofertilizantes.

Conseqüentemente na sexta coleta, o diâmetro do caule foi favorecido pela dosagem de 100% de BEBM, para Eloy *et al.* (2014) o diâmetro do caule das plantas tem uma função essencial, visto que representa o acúmulo de reservas nutritivas e beneficia o bom desenvolvimento do sistema radicular garantindo que a planta apresente eficiência na resistência e melhor função ao solo. Com 90 dias, as plantas T0, que eram testemunha do experimento, estagnaram o seu crescimento o que indica a ausência de nutrientes adequados para o desenvolvimento das plantas.

Ao final do experimento com 105 dias em campo, as plantas com dosagens de 75% de BCH e 100% de BEBM apresentaram maior evidência no diâmetro do caule. Consequentemente, o tratamento 9 de BEBM demonstrou crescimento elevado na altura da planta e no número de folhas em comparação aos outros tratamentos. Indicando que a dosagem do tratamento 9 de BEBM se mostrou eficaz em promover o crescimento da altura e aumento do número de folhas das plântulas.

Assim, solidificando as pesquisas de Liang *et al.* (2005) e em conformidade com Weckner *et al.* (2016), que descreveram que o biofertilizante a base de esterco bovino desempenha resultados positivos sobre o crescimento das plantas, devido às melhorias físicas e químicas, proporcionado pelas substâncias húmicas, ocasionando maior ajustamento osmótico pela planta, e consequentemente absorção de água pelo seu sistema radicular.

Conforme a tabela 3, os tratamentos à base BCH que obtiveram maiores resultados de altura da plântula e número de folhas ao final do experimento foi o tratamento T5, referente a 100% do biofertilizante de chorume, segundo Muscolo *et al.* (2013), este desenvolvimento pode ter sucedido devido o papel das substâncias húmicas presentes no chorume que exercem ação tipo hormonal em diferentes plantas.

Tabela 3- Diâmetro do caule, altura da planta (cm) e número de folhas, referente as 7 coletas dos tratamentos a base de chorume e esterco bovino e manipueira. A análise estatística foi realizada em cada parâmetro, comparando os diferentes tratamentos em cada coleta. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott Knott (0,05). DEC: Dias em campo

	Tratamentos	Diâmetro do Caule (cm)		Altura planta (cm)		N ° folhas	
1° Coleta (15 DEC)	T1	2,79	b	19,13	a	4,80	a
	T2	2,63	b	18,66	a	4,20	a
	T3	2,61	b	18,84	a	4,30	a
	T4	2,91	a	17,12	a	4,20	a
	T5	2,71	b	18,50	a	4,40	a
	T6	3,14	a	20,50	a	4,50	a
	T7	3,08	a	20,20	a	4,40	a
	T8	2,95	a	19,65	a	4,30	a
	T9	2,97	a	19,62	a	4,20	a
2° Coleta (30 DEC)	T1	3,39	b	19,84	b	6,60	a
	T2	3,26	b	19,47	b	6,20	a
	T3	3,27	b	20,10	b	5,60	a
	T4	3,28	b	19,80	b	6,40	a
	T5	3,32	b	19,43	b	6,30	a
	T6	3,76	a	21,65	a	6,50	a
	T7	3,76	a	21,30	a	6,60	a
	T8	3,63	a	21,20	a	6,60	a
	T9	3,81	a	22,30	a	7,10	a

3° Coleta (45 DEC)	T1	4,24	a	20,80	c	7,40	b
	T2	4,19	a	21,31	c	7,70	b
	T3	4,25	a	20,71	c	7,80	b
	T4	4,31	a	21,07	c	8,20	b
	T5	4,05	a	20,37	c	8,0	b
	T6	4,32	a	22,04	b	8,50	b
	T7	4,41	a	23,05	b	9,30	a
	T8	4,56	a	23,55	b	9,10	a
	T9	4,63	a	24,85	a	9,90	a
4° Coleta (60 DEC)	T1	4,87	c	21,48	c	8,40	c
	T2	4,50	c	21,84	c	8,10	c
	T3	4,96	c	22,19	c	9,00	c
	T4	5,12	c	22,48	c	11,00	a
	T5	4,82	c	21,60	c	10,10	b
	T6	5,17	c	23,35	c	10,00	b
	T7	5,40	b	24,90	b	11,20	a
	T8	5,46	b	26,25	b	11,40	a
	T9	5,94	a	28,57	a	11,70	a
5° Coleta (75 DEC)	T1	6,01	b	21,46	d	10,70	b
	T2	5,99	b	23,63	c	11,30	b
	T3	6,27	b	24,19	c	11,50	a
	T4	6,73	a	23,77	c	11,10	b
	T5	6,41	a	25,54	c	14,40	a
	T6	5,89	b	24,55	c	10,70	b
	T7	6,23	b	26,30	c	12,60	a
	T8	6,40	a	28,40	b	13,40	a
	T9	6,72	a	31,50	a	13,40	a
6° Coleta (90 DEC)	T1	6,61	c	22,40	d	11,80	b
	T2	6,55	c	24,56	c	12,10	b
	T3	7,16	b	25,86	c	15,60	a
	T4	7,31	b	25,26	c	11,70	b
	T5	7,41	b	29,05	b	15,30	a
	T6	6,91	c	25,16	c	12,60	b
	T7	7,36	b	27,22	c	14,70	a
	T8	7,35	b	30,90	b	13,70	a
	T9	8,05	a	33,50	a	15,40	a

7° Coleta (105 DEC)	T1	7,45	c	23,68	d	12,30	c
	T2	7,34	c	25,53	d	12,60	c
	T3	7,93	b	27,72	c	17,00	b
	T4	8,32	a	28,45	c	12,20	c
	T5	8,01	b	29,67	c	15,90	b
	T6	7,36	c	26,85	c	13,60	c
	T7	7,82	b	29,00	c	15,80	b
	T8	7,94	b	33,11	b	15,70	b
	T9	8,51	a	36,50	a	19,50	a

Fonte: Os autores, 2023

A análise química do substrato na tabela 2, demonstra que foi fornecido para planta 0,11g/L de P e 0,28 g/L de K. De acordo com as pesquisas de Araújo *et al.* (2007), que verificou os nutrientes fornecidos pelo biofertilizante a base de esterco bovino para adubação do pimentão foi de g/L: N = 0,76; P = 0,22; K = 0,27.

Em contrapartida, verificou-se na tabela 1 que o biofertilizante a base de esterco bovino e manipueira de acordo com a análise química possuíam g/L N= 0,95; P=0,8; K= 1,8; o biofertilizante de chorume apresentava em g/L N=0,8; P=0,4; K= 3,2; valores esses que foram diluídos em 5 e 4 o que diminui a concentração de nutrientes no biofertilizante e o substrato continham valores de g/l P=0,11 e K=0,28 (Tabela 2).

Tabela 4- Quantidade total de nutrientes fornecidos para a planta em (g)

Biofertilizantes	100% (g)	75% (g)	50% (g)	25% (g)
Esterco bovino e manipueira	N= 0,46	N= 0,42	N= 0,28	N= 0,14
	P= 0,47	P= 0,35	P= 0,23	P= 0,11
	K= 1,07	K= 0,80	K= 0,53	K= 0,26
Chorume	N= 0,47	N= 0,35	N= 0,23	N= 0,11
	P= 0,23	P= 0,17	P= 0,11	P= 0,05
	K= 1,90	K= 1,43	K= 0,95	K= 0,26

Fonte: Os autores, 2023

Segundo a recomendação de Cravo *et al.* (2007) a adubação para a cultura do cacaueteiro em fase de formação em função da análise do solo de N é de 20g planta, de P 60g planta e K 30g planta (Tabela 5). E, de acordo com os dados da quantidade total de nutrientes fornecidos para a planta na Tabela 4, seriam necessárias mais aplicações para suprir as necessidades da planta, já que a aplicação de 100% de ambos os fertilizantes não foi necessária para suprir as necessidades da planta no primeiro ano. Portanto, o ideal seria avaliar o efeito a longo prazo dos diferentes biofertilizantes e dosagens no crescimento das plântulas.

Tabela 5- Recomendação de Adubação para o cacaueteiro de acordo com a análise do solo.

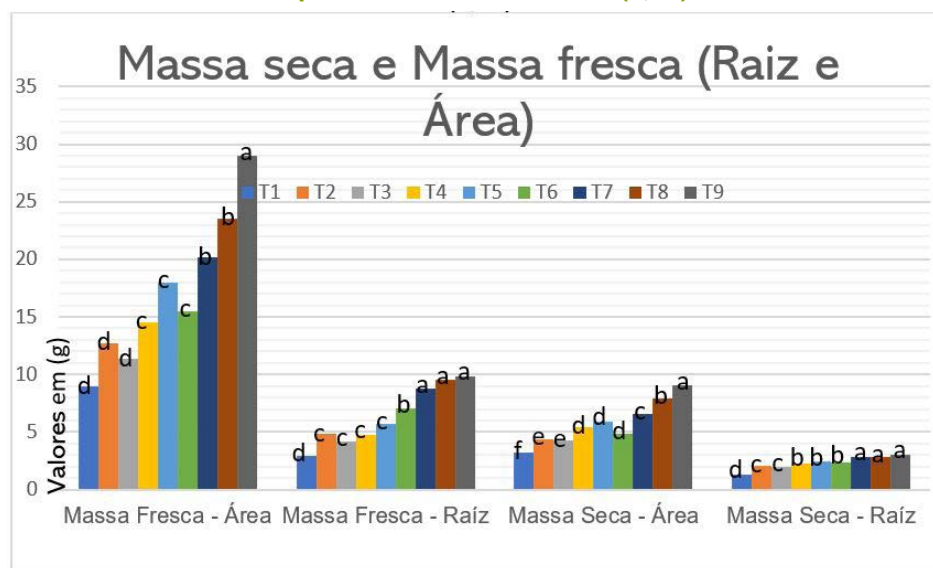
Idade (Anos)	N (g planta ⁻¹)	P no solo (mg dm ⁻³)			K no solo (mg dm ⁻³)		
		P2O5 (g planta ⁻¹)	0-6	7-15	>15	K2O (g planta ⁻¹)	0-40
1	20	90	60	30	60	30	10
2	30	90	60	30	60	30	10
3	40	90	60	30	60	30	10

Fonte: Livro: Recomendação de adubação e calagem para o Estado do Pará, 2007

A análise de variância realizada (Figura 1) indicou que a massa fresca e seca da parte aérea das plantas apresentaram resultados mais significativos no tratamento 9, que correspondeu a uma dosagem de 100% de BEBM. Isso sugere que a quantidade de nitrogênio e fósforo disponível no biofertilizante influenciou de forma positiva o crescimento das plantas.

Um estudo realizado por Carvalho *et al.* (2012), obteve resultados favoráveis na massa fresca da rúcula quando aplicadas doses de nitrogênio através de fertirrigação. Esses resultados sugerem que a aplicação de doses adequadas de nitrogênio pode promover um aumento significativo no crescimento da parte aérea das plantas.

Figura 1- Massa fresca e massa seca da raiz e aérea, realizadas na última coleta. A análise estatística foi realizada comparando os diferentes tratamentos. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott Knott (0,05)



Fonte: Os autores, 2023

Além disso, os tratamentos com maior dosagem de BEBM também apresentaram valores elevados de massa seca e fresca da raiz. Isso indica que as dosagens com uma maior disponibilidade de nutrientes para as plantas resultaram em valores positivos para crescimento das raízes.

Esses resultados sugerem a importância do nitrogênio e fósforo disponíveis no BEBM para o crescimento das plantas, tanto na parte aérea quanto nas raízes. A utilização de doses adequadas de nutrientes pode ser um fator determinante para obter resultados satisfatórios no desenvolvimento das plantas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ocorreram diferenças significativas nas variáveis observadas, onde tanto as dosagens como o tipo de biofertilizante influenciou nos resultados, se destacando a dosagem de 100% do biofertilizante de esterco bovino e manipueira.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA PARÁ- Agência de notícias oficial do governo do Pará. Disponível em:<http://surl.li/hqoey>. Acesso em: 04 de junho de 2023.

ARAÚJO, E. N. DE., OLIVEIRA, A. P. DE., CAVALCANTE, L. F., PEREIRA, W. E., BRITO, N. M. DE., NEVES, C. M. DE L., & SILVA, É. É. DA .. (2007). Produção do pimentão adubado com esterco bovino e biofertilizante. *Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental*, 11(5), 466–470. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662007000500003>

CARVALHO, K. S.; BONFIM-SILVA, E. M.; SILVEIRA, M. H. D.; CABRAL, C. E. A.; LEITE, N. Rúcula submetida à adubação nitrogenada via fertirrigação. *Enciclopédia Biosfera*, v. 8, n. 15, p. 1545-1553, 2012.

CRAVO, M. DA S.; VIEGAS, I. DE J. M.; BRASIL, E. C.; (2007) Recomendação de Adubação e Calagem para o Estado do Pará. EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL, Belém-PA. 262 p.

ELOY, E.; CARON, B. O.; TREVISAN, R.; BEHLING, A.; SCHJÖT, D.; SOUZA, V. Q. Determinação do período de permanência de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden em casa de vegetação. *Com. Sei., Bom Jesus*, v.5, n.1, p.44-50, 2014.

EMBRAPA- Empresa brasileira de pesquisa agropecuária. TEIXEIRA, P. C. *et al*, (ed.). Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. rev. Brasília/DF: EMBRAPA, 2017. 574 p.

FRANÇA, SÔNIA COSTA; DE OLIVEIRA, ALESSANDRA CONCEIÇÃO; FARIAS, GEYCI AIRES; JUNIOR, LUCÍULA FERREIRA CABRAL; DA SILVA, VALÉRIA LIMA. DOSES DE NITROGÊNIO NO CRESCIMENTO DE PORTA-ENXERTO DE GOIABEIRA PALUMA AMARELA. Curitiba: REVISTA SCIENTIA AGRARIA, 2017. 54-65 p. v. 18. ISBN 1983-2443.

GUIMARÃES, M. E. DA S., DIAS, L. A. DOS S., ALMEIDA, C. M. V. C. DE., SOUZA, C. A. S., ALMEIDA, O. F., BENJAMIN, C. S., PEREIRA, G. R., DIAS, F. J. DOS S., & CORRÊA, T. R.. (2022). Genetic evaluation and selection of cocoa tree clones. *Ciência Rural*, 52(12), e20210433. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210433>

IBGE- Instituto brasileiro de geografia estatística. Produção Agrícola Municipal 2021. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em:<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/pesquisa/15/0>. Acesso em: 12 de fevereiro de 2023.

IBGE - Instituto brasileiro de geografia estatística. Mapa do clima do Brasil, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <http://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/climatologia/mapas/brasil/Map_BR_clima_2018.pdf.> Acesso em: 30 maio 2023.

INMET - Instituto nacional de meteorologia. Mapas das estações, 2020. Disponível em: <<https://mapas.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 12 maio 2023.

LEBAUDY, A.; VÉRY, A. A.; SENTENAC, H. K+channel activity in plants: genes, regulations and functions *FEBS letters*, v.581, n.12, p.2357-2366, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.febslet.2007.03.058>

LIANG, Y. C.; SI, J.; NIKOLIC, M.; PENG, Y.; CHENG, W.; JIANG, Y. 2005. Organic manure stimulates biological activity barley growth in soil subject to secondary salinization. *Soil biology and biochemistry*. *Acta Horticulturae*, 37:1185-1195.

MATOS, CAMILA F; PINHEIRO, ERIKA FLAVIA M.; PAES, JULIANA L.; LIMA, EDUARDO; DE CAMPOS, DAVID V. B. Avaliação do Potencial de Biofertilizante de Esterco Bovino resultante do sistema de manejo orgânico e convencional da produção de leite. 5. ed. Rio de Janeiro: Rev. Virtual Quim., 2017. 1957-1969 p. v. 9. ISBN 1984-6835.

MENEGASSO, M. L., OLIVEIRA, A. C., & SILVA, E. A. DA. (2011). Adubação nitrogenada na produção de mudas de mamoeiro. *Agrarian*, 4(13), 189–196. Recuperado de <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/1117>

MUSCOLO, A.; SIDARI, M.; NARDI, S. Humic substance: Relationship between structure and activity. Deeper information suggests univocal findings. *Journal of Geochemical Exploration*, v.129, p.57–63, 2013.

PENTEADO, S. R. Adubação orgânica: compostos orgânicos e biofertilizantes. 2. ed. Campinas, 2007. 162 p.

SANTOS, A.C.V. dos. Biofertilizante líquido, o defensivo da natureza. Niterói: Emater-Rio, 1992. p.20-45.

SILVA, C. P. da; GARCIA, K. G. V.; TOSTA, M. S. da; CUNHA, C. S. M.; NASCIMENTO, C. D. V. do; adubação nitrogenada no crescimento inicial de mudas de jaqueira. (QFLFORSpGLD%LRVIHUD, v. 10, n. 18, p. 174-180, 2014

VIEIRA, C.R.V.; BOTELHO, R.A.; COSTA, P.P. Calcário e fósforo em mudas de Tarumarana *Rev. Inst. Flor.* v. 35 n. 1 p. 14-22 jun. 2023 <http://doi.org/10.24278/2178-5031.202335102>

WECKNER. F. C.; CAMPOS. M. C.; NASCIMENTO. E. P.; MANTOVANELLI. B. C.; FERREIRA. M.; Avaliação Das Mudas De Mamoeiro Sob O Efeito Da Aplicação De Diferentes Composições De Biofertilizantes *Revista da Universidade Vale do Rio Verde, Três Corações*, v. 14, n. 1, p. 700-706, jan./ jul. 2016

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter consentido que eu tivesse saúde e determinação para não desanimar durante a execução deste trabalho, a minha família e amigos por serem fonte de incentivo e a todos os envolvidos na elaboração do mesmo.



Fertirrigação com biofertilizante bovino e manupueira: efeito no crescimento de mudas de cacauero na região Transamazônica

Glendha Thalyssia Farias Sousa

Vivian Dielly da Silva Farias

Sandra Andrea Santos da Silva

Simone Maria Costa de Oliveira Moreira

Alexsandro Lima de Sousa Junior

Karina Tayná Saraiva de Jesus

Raine Gomes Apostolo de Santana

Maria Jose Pigo da Costa

Maria Lucia da Silva Lima

DOI: 10.47573/ayd.5379.2.190.7

RESUMO

O sucesso de um cultivo de cacauzeiros depende da qualidade das mudas, para isso precisam de manejo da irrigação e adubação adequados. Em vez de usar insumos sintéticos, outros insumos encontrados com facilidade na região que são descartadas de maneira incorreta no ambiente como a manureira e o esterco bovino podem ser usados para a preparação dos biofertilizantes. O trabalho objetivou avaliar o efeito do biofertilizante bovino e manureira em diferentes dosagens no crescimento de mudas de cacauzeiro. Para isso, as sementes de cacau germinadas foram obtidas através de produtores, foram plantadas em saco de polietileno previamente preenchidos com substrato. O biofertilizante foi preparado por meio da fermentação aeróbica e anaeróbica, contendo esterco bovino fresco (25%) e manureira na (25%) e água (50%). O experimento foi conduzido em casa de vegetação com delineamento experimental inteiramente casualizado arranjados em esquema fatorial 2X5 com 10 repetições, sendo dois modos de fermentação e cinco dosagens de biofertilizante. A fertirrigação com biofertilizante era feita semanalmente e a cada 15 dias foram feitas avaliações dos parâmetros fitotécnicos, posteriormente os dados foram analisados estatisticamente. Durante as avaliações foi observado o crescimento diferenciado das mudas dos tratamentos T5 (100%, aeróbico), e T9 (100%, anaeróbico), a partir da terceira aplicação de biofertilizante, ao final das aplicações foi possível avaliar que houve diferença significativa no crescimento em função das dosagens. Não houve diferença significativa nos cálculos estatísticos entre os modos de fermentação de ambos. Essa pesquisa é de extrema importância para o produtor, já que os insumos utilizados são provenientes das localidades, a recomendação da dosagem correta na cultura apresenta diversos benefícios, pois a qualidade das mudas levadas a campo, vai refletir diretamente na renda das famílias.

Palavras-chave: *Theobroma Cacao L.* adubação orgânica. reaproveitamento de matérias.

ABSTRACT

The success of a cacao tree cultivation depends on the quality of the saplings, for which there is need for adequate irrigation and fertilization management. Instead of using synthetic inputs, other inputs found with ease in the region that are improperly discarded in the environment, such as manure and bovine manure, can be used for the preparation of biofertilizers. The work aimed to evaluate the effect of bovine and manure biofertilizers in different doses on the growth of cacao saplings. For this, the germinated cocoa seeds were obtained from producers, planted in polyethylene bags previously filled with substrate. The biofertilizer was prepared by means of aerobic and anaerobic fermentation, containing fresh bovine manure (25%) and manure (25%) and water (50%). The experiment was conducted in a greenhouse with a completely randomized experimental design arranged in a 2X5 factorial scheme with 10 replicates, being two fermentation modes and five dosages of biofertilizer. The fertigation with biofertilizer was done weekly and every 15 days the phyto-technical parameters were evaluated, subsequently the data were statistically analyzed. During the evaluations, the different growth of the saplings in the treatments T5 (100%, aerobic) and T9 (100%, anaerobic) were observed from the third application of biofertilizer, at the end of the applications it was possible to evaluate that there was a significant difference in the growth according to the dosages. There was no significant difference in the statistical calculations between the two fermentation modes. This research is of extreme importance to the producer, since the inputs used are from the localities, the recommendation of the correct dosage in the culture presents several benefits, since the quality of the saplings taken to the field, will directly reflect in the income of the families.

Keywords: *Theobroma Cacao L.* organic fertilization. reuse of materials.

INTRODUÇÃO

O cacau (*Theobroma cacao*) é a espécie mais conhecida do gênero *Theobroma*. A cultura do cacaueteiro tem grande relevância socioeconômica em todo o mundo. (SOUZA *et al.*, 2016). O cacaueteiro é a principal fonte de matéria-prima para a produção de chocolate, sendo seus frutos os responsáveis. Além disso, suas sementes também são usadas para a extração de subprodutos como manteiga, nibs, licor, pó e podem ser consumidas in natura. (BOUIX *et al.*, 2022).

Na região da Transamazônica do Pará a partir da implementação de uma nova política governamental, o cultivo do cacau foi impulsionado. Em 1970, a abertura da BR-230 (Rodovia Transamazônica) permitiu que projetos e ações fossem estabelecidos para incentivar a implantação de novos modelos agropecuários. Com isso, houve um aumento significativo do cultivo de cacau, que foi potencializado com a implementação de incentivos fiscais, (JÚNIOR, 2013).

A agricultura cacaueteira sofre com graves problemas provocados por doenças e pragas, que resultam em grandes perdas na produção. Para lidar com essa situação, é preciso que os aspectos envolvidos sejam devidamente compreendidos. Conhecer os fatores que conduzem ao desenvolvimento dessas doenças é o primeiro passo para reduzir os danos causados, (HOLANDA, *et al.*, 2021).

Com esse cenário se fez necessário pesquisas sobre a cultura do cacaueteiro, o uso de mudas vigorosas livres de pragas e doenças, vastamente importante para que o produtor tenha sucesso com a atividade frutícola. Destaca-se como técnicas indispensáveis para produzir mudas com qualidade, o manejo de irrigação, e adubação.

A irrigação com fertilizantes permitirá a aplicação dos nutrientes de acordo com as necessidades das plantas, garantindo a umidade ideal para aproveitamento dos mesmos. Desta forma, torna-se possível que as plantas absorvam os fertilizantes melhor, tornando-os disponíveis de maneira mais eficaz. (SANTOS, 2022).

A partir da Revolução Industrial no século XVIII, a humanidade tem sido responsável pelo aumento dos gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera. O setor agropecuário é visto como um dos maiores contribuintes destas alterações. De acordo com Gerber *et al.* (2013), a pecuária é responsável por 14,5% das emissões de GEE no mundo, sendo a bovinocultura responsável por 65% desse valor.

A fim de diminuir as emissões de gás metano e reduzir o uso desenfreado de insumos sintéticos, o biofertilizante bovino pode ser empregado em substituição aos requisitos nutricionais da cultura ao longo da estação de crescimento, oferecendo às plantas uma ampla variedade de macro e micronutrientes, segundo Silva *et al.* (2016). No entanto vale ressaltar que não substituí por completo o fertilizante mineral (DINIZ *et al.*, 2011).

Segundo Inoue, (2011) no processamento das raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), são gerados diversos tipos de resíduos, como a casca, a entrecasca, o farelo e a manipueira. De acordo com Araújo e Lopes (2009), o resíduo líquido conhecido popularmente como manipueira é o principal desafio presente nas cadeias produtivas da mandioca, pois acarreta problemas ao meio ambiente e à saúde pública.

A liberação contínua do mesmo pode causar consequências devastadoras para o meio

ambiente, particularmente para a fertilidade do solo, a qualidade do ar e as águas superficiais e subterrâneas (IZAH *et al.*, 2018). A manipueira oferece múltiplos benefícios para a agricultura, devido à sua alta concentração de matéria orgânica (MO) e nutrientes como nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), conforme observado por Dantas *et al.* (2015).

Por essa razão, ela tem se apresentado como opção promissora e viável para suprir as necessidades nutricionais das plantas. Diante das limitadas informações sobre o uso de biofertilizantes em cacaueteiro, o objetivo do trabalho foi avaliar o crescimento de mudas de cacaueteiro fertirrigado em diferentes dosagens de biofertilizante bovino e manipueira, avaliando seus parâmetros fitotécnicos.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização do experimento

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação, na Universidade Federal do Estado do Pará, Campus Altamira município de Altamira – Pará, forrada com sombrite de 50%, sob as coordenadas geográficas 3°12' 36.0" Sul e 52°12' 36.0" W Oeste e altitude de 101.51 m (INMET, 2020).

A região possui um clima equatorial quente e úmido, com três meses secos. A precipitação pluviométrica anual média está entre 2000 mm e 2500 mm, de acordo com os dados do IBGE (2018).

Delineamento experimental

O delineamento experimental foi inteiramente casualizados com 10 tratamentos arranjados em esquema fatorial 2X5 e 10 repetições, em que os tratamentos representaram a combinação de 2 modos de preparo do biofertilizante (aeróbico e anaeróbico) 5 dosagens (0%, 25%, 50%, 75%, 100%) aeróbico e 5 dosagens (0%, 25%, 50%, 75%, 100%) anaeróbico.

Figura 1 - Delineamento inteiramente casualizados de mudas de cacaueteiro (*Theobroma cacao*), em casa de vegetação.



Fonte: autora

Preparo e análise do substrato

No preparo do substrato foi utilizado solo de barranco, casca de arroz carbonizado, fibra de coco e areia, foi mantido em local fresco e sombreado. Foram usados sacos de polietileno de (17cm x 22 cm), previamente preenchidos com substrato.

Tabela 1 - Análise química do substrato realizado pelo Laboratório de Análise Agronômica e Ambiental – Fullin em Linhares-ES.

pH	P	K	S	Ca	Mg	Al	H+Al
			-----mg.dm ⁻³ -----			-----cm olc.dm ⁻³ -----	
5,8	11	280	21	2,7	1,2	0,0	2,4

Preparo e análise do biofertilizante

O biofertilizante de esterco bovino, foi preparado por meio da fermentação aeróbica e anaeróbica contendo 25% esterco bovino fresco, 25% manipueira e 50% água (volume/volume = v/v), pelo tempo de 50 dias em recipiente plástico e na ausência de ar no caso da fermentação anaeróbica. Para se obter o sistema anaeróbio a mistura foi colocada em uma bombona plástica de 50 L ocupando 60% do espaço e fechada hermeticamente.

Na tampa, foi adaptada uma mangueira com a outra extremidade mergulhada num recipiente com água na altura de 20 cm, para a saída de gases (PENTEADO, 2007). E no sistema aeróbico foi utilizado baldes com tampas sem vedação, e diariamente era movimentado durante 5 minutos para melhor fermentação.

Os teores de nutrientes (N, P, K) presentes na composição do biofertilizante foi caracterizado por análise química, após o período de 50 dias de fermentação tanto para o biofertilizante aeróbico e anaeróbico.

Figura 3 - Preparo do biofertilizante na proporção de 25% esterco, 25% manipueira, e 50% água.



Fonte: autora

Figura 4 - (A) Biofertilizante aeróbico; (B) Biofertilizante anaeróbico; (C) Amostras para análise química do biofertilizante.



Aplicação do biofertilizante

Durante o crescimento, as plantas foram mantidas em casa de vegetação. 250 ml de água foram adicionados ao solo a fim de atingir a capacidade de campo. O material foi então peneirado e deixado por 1h 50min para que a água escoasse. Após esse período, foi realizado o cálculo da capacidade de campo.

$$CC = \text{Água retida (ml)} \times 100 / \text{volume de solo (g)}$$

$$CC = 250 \text{ (ml)} \times 100 / 800 \text{ g} = 31,25 \text{ ml}$$

O experimento foi irrigado 2 vezes na semana de acordo com o cálculo de capacidade de campo de forma manual e localizada.

O substrato foi fertirrigado com o biofertilizante em concentrações diferentes conforme cada tratamento, com base na sugestão de Santos (1992), que recomenda a dose de 15 L/m² por mês; portanto, como a área do saco de polietileno foi de 226,86 cm² foram fornecidos 108 ml do insumo por muda/mês, divididos em 4 aplicações de 27 ml. Durante o ciclo foram realizadas 20 aplicações.

Sendo assim, foi aplicado semanalmente, 0,27 L por planta da solução fertirrigante (biofertilizante + água), diferenciada quanto à concentração do insumo orgânico, em conformidade com os tratamentos: T0 = 0% (testemunha); T1 = 25%; T2 = 50%; T3 = 75%; T4 = 100% do biofertilizante.

Avaliação dos parâmetros

Aos 15 dias após transplante iniciou avaliação a cada 15 dias para medir altura, diâmetro do caule (feita com paquímetro digital), número de folhas e área foliar. Após o período de avaliação as mudas foram retiradas de campo e a análise da área foliar foi feita de acordo com a sugestão Oliveira *et al.* (2012) e utilizada por Fraga Junior (2016) em cacauzeiros jovens, para determinar seu desenvolvimento. Foram feitas 3 coletas de a área foliar em cm² durante o experimento.

As folhas, raízes e caule foram lavados e secos em estufa a 65°C até atingir peso constante, e avaliadas as variáveis biológicas: massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSPR). Os resultados foram submetidos à análise de variância mediante aplicação do teste

F e de regressão, para as variáveis que apresentaram resposta significativa os dados foram ajustados a equações de regressão.

Figura 6 - (A) Medição do diâmetro do caule com paquímetro; (B) Medição da altura da muda.



Fonte: Autora

Figura 7 - Mudas lavadas após a retirada no campo para a avaliação das variáveis biológicas



Fonte: Autora

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 2 foi analisado a quantidade de nitrogênio, fósforo e potássio presente em cada biofertilizante, aeróbico e anaeróbico que foi diluído em 4 dosagens para aplicação nas mudas de cacaueteiro.

Tabela 2 - Análise química dos biofertilizantes.

Biofertilizante	N	P	K
Aeróbico mg/L	1200	750	2000
Anaeróbico mg/L	950	800	1800

Tabela 4 - Recomendação de Adubação para o cacaueteiro de acordo com a análise do solo.

Idade (Anos)	N (g planta ⁻¹)	P no solo (mg dm ⁻³)			K no solo (mg dm ⁻³)		
		P2O5 (g planta ⁻¹)			K2O (g planta ⁻¹)		
		<6	7-15	>15	<40	41-90	>90
1	20	90	60	30	60	30	10
2	30	90	60	30	60	30	10
3	40	90	60	30	60	30	10

Fonte: Livro: Recomendação de adubação e calagem para o Estado do Pará, 2007.

Como não há recomendação para mudas de cacaueteiro, e de acordo com os dados da quantidade total de nutrientes fornecidos para a planta na Tabela 4, seriam necessárias mais aplicações para suprir as necessidades da planta, já que a aplicação de 100% de ambos os biofertilizantes não foi necessária para suprir as necessidades da planta no primeiro ano, por ter ocorrido por apenas 4 meses de experimento e estar com um valor abaixo da recomendação de Nakayama e Cravo (2007) onde a adubação para a cultura do cacaueteiro em fase de formação em função da análise do solo de N é de 20g planta, de P 60g planta e K 30g planta, e foram fornecidos para as mudas com os melhores resultados T5 (100% aeróbico) e T9 (100% anaeróbico) até o final do experimento respectivamente T5; 0,5184g de nitrogênio T9; 0,4104g de nitrogênio, T5; 0,3779g de fosforo, T9; 0,3995g de fosforo, T5; 0,2236g de potássio T9; 0,21496g de potássio.

Durante os 4 meses de experimento o biofertilizante foi diluído em 4 dosagens na aplicação das mudas, 0% testemunha 25%, 50%, 75%, 100% aeróbicos e tratamentos anaeróbicos. O nitrogênio utilizado por planta ao total nas 16 aplicações incluindo a quantidade que estava presente no substrato e na diluição de 25% biofertilizante aeróbico foi: 129,6 mg/Planta N; 50%: 259,2 mg/Planta N; 75%: 388,8 mg/Planta N; 100%: 518,4 mg/Planta N e o anaeróbico na proporção de 25%: 102,56 mg/Planta N; 50%: 205,12 mg/Planta N; 75%: 307,68 mg/Planta N; 100%: 410,4 mg/Planta N.

O fosforo utilizado por planta ao total nas 16 aplicações incluindo a quantidade que estava presente no substrato e na diluição de 25% biofertilizante aeróbico foi 134,86 mg/Planta P; 50%: 215,82 mg/Planta P; 75%: 296,78 mg/Planta P; 100%: 377,9 mg/Planta P; consecutivamente o P anaeróbico 25% por planta foi 140,3 mg/Planta P; 50%: 226,7 mg/Planta P; 75%: 313,1 mg/Planta P; 100%: 399,5 mg/Planta P. O potássio utilizado por planta ao total nas 16 aplicações incluindo a quantidade que estava presente no substrato e na proporção de 25% biofertilizante aeróbico foi 1588 mg/Planta K; 50%: 1804 mg/Planta K; 75%: 2020 mg/Planta K; 100%: 2236 mg/Planta K e consecutivamente o biofertilizante anaeróbico na diluição de 25%: 1566,4 mg/Planta K; 50%: 1760,8 mg/Planta K; 75%: 1955,2 mg/Planta K; e 100%: 2149,6 mg/Planta K.

Os resultados da composição dos dois biofertilizantes estudados na (tabela 2) mostram uma leve disparidade entre os teores de nutrientes disponibilizados, uma das possíveis causas para estas diferenças pode estar vinculada ao tipo de fermentação já que em ambos tinham a mesma composição. O biofertilizante anaeróbico ainda que tenha disponibilizado boas quantidades de macro e micronutrientes, é notável a leve superioridade do produto que sofreu atuação de microrganismos em presença de oxigênio.

O uso mais frequente de esterco de animais em substratos contribui significativamente para melhorar propriedades físicas, estimulando a atividade microbiana. Entre os adubos orgânicos, o esterco bovino é a forma mais utilizada, devido os excelentes resultados que tem mostrado na produção de mudas de plantas. Segundo Dias *et al.* (2022), os resultados vêm sendo muito positivos. O biofertilizante bovino estimula em maior proporção a matéria seca da raiz e da parte aérea, desempenho na altura de plantas, área foliar e diâmetro do caule sob adubação. Portanto esses parâmetros podem ser significativos na cultura do cacaueteiro, para que tenha um impacto positivo na sua produtividade, pois de acordo com a literatura, é preciso tomar devidos cuidados com as mudas, para resultados futuros, devido essa cultura ser socioeconomicamente importante como a segunda maior economia rural do Território da Transamazônica e Xingu.

A avaliação foi realizada para verificar a influência do biofertilizante na forma aeróbica e

anaeróbica em mudas de cacaueteiro, conforme apresentado na tabela 3.

Tabela 3 - Diâmetro do caule (cm), altura da planta (cm) e nº de folhas mensuradas nas 7 coletas do experimento. A análise estatística foi realizada em cada parâmetro, comparando os diferentes tratamentos. O valor após a média representa o desvio padrão (n = 10) letras iguais não diferem entre si pelo teste de scott knott (p> 0,05).

	Tratamentos	Diâmetro do caule (cm)			Altura planta (cm)			N ° folhas		
1ª coleta	T1	3,01	a	± 0,25	20,60	a	± 1,22	4,40	a	± 0,52
	T2	2,84	a	± 0,25	19,50	a	± 2,08	4,30	a	± 0,48
	T3	2,87	a	± 0,42	19,10	a	± 1,81	4,80	a	± 0,63
	T4	3,01	a	± 0,28	20,30	a	± 1,62	4,50	a	± 0,71
	T5	3,04	a	± 0,38	20,20	a	± 1,53	4,30	a	± 0,67
	T6	3,14	a	± 0,25	20,50	a	± 0,94	4,50	a	± 0,71
	T7	3,08	a	± 0,23	20,20	a	± 1,38	4,40	a	± 0,52
	T8	2,95	a	± 0,36	19,65	a	± 0,82	4,30	a	± 0,82
	T9	2,97	a	± 0,18	19,62	a	± 1,56	4,20	a	± 0,79
2ª coleta	T1	4,05	a	± 0,25	20,97	b	± 1,42	6,4	b	± 0,70
	T2	3,68	b	± 0,40	20,30	b	± 1,87	6,4	b	± 0,84
	T3	3,64	b	± 0,42	20,60	b	± 2,12	7,3	a	± 1,16
	T4	3,81	b	± 0,41	21,75	b	± 1,78	7,6	a	± 0,97
	T5	4,02	a	± 0,39	23,10	a	± 2,29	7,9	a	± 1,20
	T6	3,76	b	± 0,34	21,65	b	± 0,82	6,5	b	± 0,71
	T7	3,76	b	± 0,31	21,30	b	± 1,21	6,6	b	± 0,70
	T8	3,63	b	± 0,18	21,20	b	± 2,30	6,6	b	± 0,97
	T9	3,81	b	± 0,11	22,30	a	± 1,36	7,1	a	± 0,99
3ª coleta	T1	4,62	a	± 0,45	21,30	b	± 1,23	7,60	b	± 1,43
	T2	4,28	a	± 0,38	21,55	b	± 2,33	8,50	b	± 1,18
	T3	4,62	a	± 0,49	22,15	b	± 1,96	9,90	a	± 1,20
	T4	4,53	a	± 0,49	24,05	a	± 2,68	10,00	a	± 1,25
	T5	4,62	a	± 0,36	24,35	a	± 1,47	10,60	a	± 1,17
	T6	4,32	a	± 0,46	22,40	b	± 1,13	8,50	b	± 1,08
	T7	4,41	a	± 0,34	23,05	a	± 1,76	9,30	a	± 0,95
	T8	4,56	a	± 0,33	23,55	a	± 2,73	9,10	a	± 1,29
	T9	4,63	a	± 0,21	24,86	a	± 1,31	9,90	a	± 1,20
4ª coleta	T1	5,16	b	± 0,76	21,85	c	± 1,49	8,50	d	± 1,08
	T2	5,15	b	± 0,43	22,10	c	± 1,26	10,00	c	± 1,25
	T3	5,53	b	± 0,61	23,25	c	± 1,44	10,50	b	± 1,35
	T4	5,53	b	± 0,45	25,80	b	± 2,52	11,10	b	± 1,91
	T5	5,98	a	± 0,64	26,70	b	± 3,19	15,80	a	± 2,15
	T6	5,17	b	± 0,41	23,35	c	± 1,25	10,00	c	± 1,49
	T7	5,40	b	± 0,41	24,90	b	± 2,02	11,20	b	± 1,48
	T8	5,46	b	± 0,45	26,25	b	± 4,46	11,40	b	± 1,65
	T9	5,94	a	± 0,25	28,57	a	± 2,31	11,70	b	± 2,00

5ª coleta	T1	5,79	b	±	0,51	22,70	c	±	1,70	9,20	c	±	1,23
	T2	5,64	b	±	0,46	23,60	c	±	2,99	11,60	b	±	1,51
	T3	6,29	a	±	0,65	25,60	c	±	2,93	12,90	a	±	1,29
	T4	5,77	b	±	0,35	27,85	b	±	2,53	13,60	a	±	1,07
	T5	6,25	a	±	0,59	30,25	a	±	3,92	14,50	a	±	1,43
	T6	5,89	b	±	0,40	24,55	c	±	1,50	10,70	b	±	1,64
	T7	6,23	a	±	0,55	26,30	c	±	2,31	12,60	a	±	1,26
	T8	6,40	a	±	0,56	28,40	b	±	4,54	13,40	a	±	1,43
	T9	6,73	a	±	0,26	31,50	a	±	2,74	13,40	a	±	1,96
6ª Coleta	T1	6,21	d	±	0,85	23,82	d	±	1,73	11,10	c	±	1,66
	T2	6,72	c	±	0,33	24,29	d	±	1,50	13,20	b	±	1,69
	T3	7,48	b	±	0,60	24,67	d	±	1,20	14,20	a	±	2,30
	T4	7,27	b	±	0,43	29,98	b	±	2,66	16,00	a	±	2,00
	T5	7,52	b	±	0,47	31,30	b	±	2,38	16,30	a	±	2,06
	T6	6,91	c	±	0,43	25,16	d	±	2,08	12,60	b	±	1,96
	T7	7,36	b	±	0,59	27,22	c	±	3,23	14,70	a	±	1,83
	T8	7,35	b	±	0,59	30,90	b	±	3,19	13,70	b	±	2,58
	T9	8,05	a	±	0,45	33,50	a	±	2,26	15,40	a	±	2,76
7ª Coleta	T1	6,68	c	±	0,67	24,55	c	±	2,64	11,70	d	±	1,89
	T2	7,27	b	±	0,58	26,62	c	±	2,92	14,20	c	±	2,25
	T3	8,08	a	±	0,90	27,22	c	±	2,47	14,50	c	±	1,84
	T4	7,79	a	±	0,52	32,31	b	±	3,41	16,70	b	±	1,70
	T5	8,14	a	±	0,57	32,15	b	±	7,33	18,00	a	±	2,49
	T6	7,37	b	±	0,48	26,85	c	±	2,01	13,60	c	±	2,50
	T7	7,82	a	±	0,64	29,00	c	±	2,89	15,80	b	±	2,04
	T8	7,94	a	±	0,36	33,11	b	±	6,17	15,70	b	±	3,56
	T9	8,51	a	±	0,50	36,50	a	±	2,52	19,50	a	±	2,32

Fonte: autores (2023)

No parâmetro diâmetro do caule mostrou que não teve diferença significativa quanto ao tipo de biofertilizante, porém, comparado a testemunha as plantas tiveram um desenvolvimento a partir da dosagem de 25% (T2 Aeróbico e T6 Anaeróbico) em ambos os fertilizantes, nos parâmetros analisados pode-se observar o desenvolvimento das mudas em função das doses de biofertilizante onde o maior desenvolvimento em ambos foi no de 100% (T5 aeróbico e T9 anaeróbico).

Figura 8 - Tratamento T1 testemunha, T2 (25% aeróbico), T3 (50% aeróbico) com aumento dos parâmetros de acordo com as dosagens.



Fonte: autora

Figura 9 - Tratamento T4 (75% aeróbico), T5 (100% aeróbico), T6 (25% anaeróbico)



Fonte: Autora.

Figura 10 - Tratamento T7 (50% anaeróbico), T8 (75% anaeróbico), T9 (100% anaeróbico).



Fonte: Autora

Outros trabalhos também revelaram a mesma tendência, como nas pesquisas de Sousa *et al.* (2013) onde os resultados indicam que a fertirrigação com biofertilizantes bovinos possui efeito significativo sobre o diâmetro do caule, área foliar, matéria seca da parte aérea e matéria seca total do feijoeiro. As diferentes concentrações de biofertilizante foram responsáveis por um aumento linear das variáveis mencionadas.

Além disso, os diferentes tipos de cultivares também se mostraram significativos no que tange ao diâmetro do caule, matéria seca da parte aérea, matéria seca da raiz e matéria seca total. Nos trabalhos de Silva *et al.* (2011), obtiveram esse mesmo efeito em mudas de pinhão manso no diâmetro do caule após 80 dias de transplante utilizando o esterco na cultura do pinhão manso que foi responsável por um aumento expressivo na relação entre a altura e a massa seca da parte aérea das mudas.

O aumento no diâmetro do caule, é de extrema relevância para avaliação da capacidade de sobrevivência e crescimento das plantas após o plantio. O diâmetro do coleto se mostra como um importante elemento para garantir a formação e o crescimento de novas raízes. Esse desenvolvimento pode estar relacionado com os maiores teores de NPK nas dosagens maiores, que atende a cultura do cacaueteiro na fase de muda assim como em outras culturas.

Avaliando os parâmetros da altura das plantas, o tratamento 9 (100% biofertilizante anaeróbico) foi o que teve maior resposta a fertirrigação se diferenciando da testemunha e os demais tratamentos. No trabalho do autor Nascimento (2016) foi possível constatar o mesmo resultado onde a altura média das plantas no tratamento 4 com dosagem maior de biofertilizante bovino, foi superior ao do tratamento 1.

Entretanto, o Autor destacou que este resultado contradiz os registros de Prior *et al.* (2015), pois, segundo os autores, a fertirrigação com água residuária da suinocultura associada a adubação convencional não influenciou na altura das plantas, mesmo com o aumento das

doses de biofertilizante. De acordo com Souza *et al.* (2015), em estudo com moringa submetida a doses crescentes de esterco bovino, observaram que ocorreu diminuição a partir do ponto de dose máxima.

Foi ressaltado o aumento do número de folhas (NF) das plantas estudadas, à medida que se aumentou a dose de biofertilizante não se diferenciando significativamente quanto ao tipo de biofertilizante, obtendo a maior produção de folhas na dosagem de 100% (T5 anaeróbico e T9 Anaeróbico) em ambos os fertilizantes se diferenciando dos demais tratamentos. Foi possível notar que a dosagem foi mais significativa do que o tipo de fermentação. De acordo com o autor Viana *et al.* (2001) esse maior crescimento da parte aérea contribui para o aumento do tecido fotossintético e futuramente aumentando a produção final da cultura.

Tabela 4 - Avaliação da área foliar na 4^a, 6^a e 7^a coleta das mudas de cacaueteiro. o valor após a média representa o desvio padrão (n = 3) letras iguais não diferem entre si pelo teste de scott knott (p > 0,05).

	Tratamentos		Área foliar		
4 ^a Coleta	T1	294,65	d	±	41,70
	T2	477,58	c	±	57,04
	T3	665,46	b	±	70,88
	T4	718,67	b	±	36,27
	T5	1191,73	a	±	135,18
	T6	494,03	c	±	73,77
	T7	640,73	b	±	104,67
	T8	773,00	b	±	105,16
	T9	1086,20	a	±	149,27
6 ^a Coleta	T1	481,70	c	±	71,13
	T2	665,13	c	±	85,60
	T3	788,73	c	±	134,12
	T4	1079,73	b	±	131,57
	T5	1381,48	a	±	123,56
	T6	749,32	c	±	131,05
	T7	898,07	c	±	332,27
	T8	1018,82	b	±	188,46
	T9	1413,39	a	±	232,30
7 ^a Coleta	T1	579,58	c	±	139,90
	T2	859,86	c	±	179,96
	T3	993,06	c	±	166,52
	T4	1214,42	b	±	123,29
	T5	1497,02	b	±	147,46
	T6	784,11	c	±	137,86
	T7	969,21	c	±	351,22
	T8	1322,28	b	±	270,67
	T9	1868,09	a	±	588,26

Na pesquisa do autor N'Dafá *et al.* (2022) o comprimento das folhas de cacau aumentou linearmente em 0,05274 cm a cada grama de esterco bovino aplicada, Os resultados mostram que o T9 100% se diferenciou do T5 100% na última coleta de área foliar, e o maior teor de nutriente presente no T9 foi de fósforo de acordo com a análise do biofertilizante que atua no crescimento e no sistema radicular, o fósforo é um macronutriente que, na fase adulta da planta,

é menos exigido em quantidade que o nitrogênio e o potássio, diferentemente da fase de formação, quando atua na estruturação das raízes e do lenho, daí a importância da sua presença na adubação de plantio, (CAFÉPOINT, 2022). Apesar de o tratamento T5 conter um teor maior de nitrogênio não foi suficiente para se destacar do T9, a causa pode ser que o solo já continha a quantidade ideal para a muda no tratamento T9 fazendo que ocorresse uma interação entre nutrientes de forma equilibrada. O fósforo desempenha um papel importante na produtividade das culturas, pois a sua baixa solubilidade torna-o menos disponível para os vegetais. Contudo, quando é carregado pelo solo, ele se liga fortemente a elementos coloidais, como o ferro (Fe), alumínio (Al) e cálcio (Ca), formando compostos insolúveis. Por essa razão, de acordo com Araújo e Machado (2006), a importância do fósforo está relacionada à sua baixa disponibilidade no solo, isso porque fósforo é um macronutriente essencial para as plantas, desempenhando funções estruturais e contribuindo para vários processos metabólicos, como transferência de energia, síntese de ácidos nucleicos, glicose, respiração, síntese e estabilidade de membrana, além da ativação e desativação de enzimas. (VANCE *et al.*, 2003; PRADO, 2008)

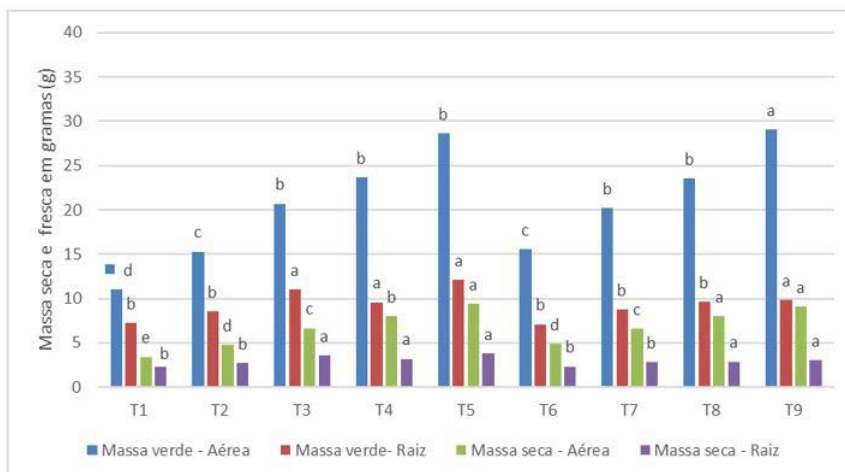
Figura 7 - tratamentos que se diferenciou significativamente comparado a testemunha T1, lado esquerdo T5 (aeróbico) e lado direito T9 (anaeróbico).



Fonte: Autora

A análise estatística foi realizada no parâmetro, comparando os diferentes tratamentos dentro de cada coleta. No gráfico a biomassa das mudas não se diferenciou quanto ao tipo de biofertilizante, já que seu desenvolvimento ocorreu de forma linear, com o aumento das dosagens de ambos os biofertilizantes.

Gráfico 1 - Massa fresca da parte aérea (barra cinza escuro), massa seca da parte aérea (barra cinza médio), massa fresca da raiz (barra cinza claro), e massa seca da raiz (barra branca), todas em gramas, oriundas da 7ª coleta do experimento nos 9 tratamentos avaliados. A análise estatística foi realizada em cada parâmetro, comparando os diferentes tratamentos. Barras representam o desvio padrão (n = 10) letras iguais não diferem entre si pelo teste de scott knott (p > 0,05).



A MVPA do T9 anaeróbico e MVPA o T5 teve o melhor aproveitamento de cada tratamen-

to, houve uma diferença significativa no tratamento em comparação com a testemunha, houve um desempenho melhor nas maiores dosagens do biofertilizantes em 100%, mas, desde a dosagem em 25% já se nota um aproveitamento da cultura de forma crescente tanto na fermentação aeróbica, quanto anaeróbica. Na pesquisa de N'Dafá *et al.* (2022) com relação à matéria seca de folha (MSF) em cacau, teve ajuste ao modelo de regressão raiz quadrada, submetidas doses crescentes de esterco bovino, o coeficiente de determinação foi igual a 91,68%, no entanto Araújo *et al.* (2008) constaram redução do crescimento das mudas de café a partir dos valores máximos estimados matéria seca de folha, quando submetidas a diferentes percentuais de biofertilizantes. Apesar de o aeróbico apresentar maior teor de nitrogênio, as dosagens foram mais significativas que o modo de fermentação, pois o anaeróbico oferecia maior teor de fósforo e no metabolismo da planta o P está relacionado a processos como a fotossíntese, a respiração, a divisão e o crescimento celular e a transferência de energia como parte do trifosfato adenosina (ATP) além de promover o crescimento do sistema radicular (COSTA 2023).

No trabalho de Lima *et al.*, (2018) sendo a mesma relação de crescimento observada na Variável da Massa verde da Parte Aérea, a Massa seca de Parte aérea teve um acréscimo no peso da beterraba de acordo com o aumento da dosagem do biofertilizante bovino, assim como na Massa seca da raiz e Massa verde da raiz. Nas mudas de cacauzeiro a fertirrigação com biofertilizante bovino estimulou em maior proporção a MVPA, MVPR, MSPA E MSPR de acordo com o aumento das dosagens. Outro nutriente importante para essa variável é o potássio que é essencial para o metabolismo das plantas, contribuindo para diversas funções dentro das células. Participa da ativação de sítios enzimáticos ligados à fotossíntese e respiração, bem como do crescimento aéreo e radicular da planta, e durante a floração (OLIVEIRA, 2009).

Esse crescimento observado no aumento de dosagens entre os biofertilizante, para estes componentes biométricos, podem ser atribuídas a melhor fertilização em N para a cultura do cacauzeiro, pois ambos biofertilizantes aeróbico e anaeróbico disponibilizaram maior quantidade de N, influenciando positivamente a MVPA e MSPR. Os resultados podem ser explicados, pela adição de matéria orgânica no solo, que resulta em diversos benefícios, como melhoria nas propriedades físicas, biológicas e químicas do solo, aumentando, dessa forma, o fornecimento de nutrientes às plantas. No trabalho do autor Batista (2011) O teor de fósforo na parte aérea das mudas de goiabeira aumentou de forma exponencial em função da aplicação de fósforo, o aumento no fornecimento de P resultou em um maior desenvolvimento da matéria seca das raízes, pois é fundamental para o crescimento do sistema radicular das culturas de acordo com Prado (2008). Esse fato reforça a necessidade de plantas de alta qualidade para o sucesso da produção de mudas. Isso é possível com sistemas radiculares bem desenvolvidos, que melhoram o enraizamento da planta e o seu crescimento inicial no campo (PRADO, 2008).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos parâmetros avaliados não houve diferença significativa quanto ao tipo de fermentação do biofertilizante bovino, porém as plantas que receberam biofertilizante apresentaram melhores desempenhos em comparação com a testemunha. O aumento nas dosagens aplicadas via fertirrigação proporcionou os melhores parâmetros avaliados na cultura, demonstrando uma relação diretamente proporcional.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, J. S. P.; LOPES, C. A. Produção de farinha de mandioca na agricultura familiar. Programa Rio Rural, Niterói, p 15, 2009.

ARAÚJO, A. P.; MACHADO, C. T. T. Nutrição mineral de plantas. In: FERNANDES, M. S.(Ed.). Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, cap. 10, p. 432, 2006.

ARAÚJO, N. C.; LIMA, V. L. A. DE.; ANDRADE, E. M. G.; OLIVEIRA, S. J. C.; CARDOSO, J. A. F.; SENA, L. F. Crescimento inicial de feijão Vigna fertirrigado com urina humana e manipueira. Revista Espacios, Caracas, v.38, n. 13, p.21-31, 2017.

BATISTA, M. A. V.; PRADO, R. M.; LEITE, G. A. Biosci. J. RESPOSTA DE MUDAS DE GOIABEIRA A APLICAÇÃO DE FÓSFORO Uberlândia, v. 27, n. 4, p. 635-641, July/Aug. 2011

BOUIX, C. P. S.; RAMOS, A. Manejo da irrigação em cacauzeiros na região sul da Bahia. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v.8, n.4, p. 22820- 22877, abr. 2022. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv8n4-007>.

CAFEPOINT > ACESSO EM 29/05/2022< Site : <https://www.cafepoint.com.br>

DANTAS, M. S. M.; ROLIM, M. M.; DUARTE, A. S.; PEDROSA, E. M. R.; TABOSA, J. N.; DANTAS, D. C. Crescimento do girassol adubado com resíduo líquido do processamento de mandioca. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 19, n. 4, p. 350-357, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p350-357>.

DIAS, D. R.; FARIA, I. K. B.; VALE, B. S. C.; SANTANA, J. A. V.; SALLES JUNIOR, J. R. Produção de mudas de maracujazeiro-amarelo em diferentes níveis de irrigação e formulações de substrato, Nativa, Sinop, v. 10, n. 1, p. 102-108, DOI: <https://doi.org/10.31413/nativa.v10i1.12330>. 2022

DINIZ, A. A.; CAVALCANTE, L. F; REBEQUI, A. M.; NUNES, J. BREHM, M. A. S. Esterco líquido bovino e ureia no crescimento e produção de biomassa do maracujazeiro amarelo. Revista Ciência Agronômica, v.42, n.3, p.597-604, 2011.

GERBER, Pierre J. *et al.* Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO). Enfrentando as mudanças climáticas por meio da pecuária: uma avaliação global das emissões e oportunidades de mitigação. Roma, Itália, 2013.

FRAGA JUNIOR, L. S. *et al.* Relação Entre Transpiração e Eto Em Cacauzeiros Jovens Com Diferentes Áreas Foliare. Cruz das Almas BA, 2017.

IBGE - Mapa do clima do Brasil, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em:
<http://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/climatologia/mapas/brasil/Map_BR_clima_2018.pdf.>
Acesso em: 28 março 2023.

INOUE, Keles Regina Antony *et al.* Concentração de nutrientes em plantas de milho, adubadas com biofertilizantes, obtidos na digestão anaeróbia da manipueira. Engenharia na Agricultura, Viçosa, v. 19, n. 3, p. 236-243, maio/jun. 2011.

IZAH, Sylvester Chibueze; BASSEY, Domingo Etim; OHIMAIN, Elias Ige. Impactos dos efluentes da fábrica de mandioca na Nigéria. Journal of Plant and Animal Ecology , v. 1, n. 1, pág. 14 de 2018.

- JÚNIOR, Miguel Alves. A cultura do cacau no território da transamazônica e xingu: um enfoque as pesquisas realizadas no município de Medicilândia-pa. EDUCAmazônia, v. 10, n. 1, p. 126-142, 2013.
- LIMA NETO, J. V. Influência do biofertilizante líquido aplicado ao solo, no crescimento e produção da beterraba (*Beta vulgaris* L.). 2018. 22 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) - Unidade Acadêmica de Agronomia, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, Paraíba, Brasil, 2018.
- N'DAFÁ, G.; MIRANDA PINTO, C.; OLIVEIRA PINTO, O.R.; SILVA, L.G.C crescimento inicial de mudas de cacauzeiro fertilizado com doses de esterco bovino. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer – Jandaia-GO, v.19 n.42; p. 179 2022
- OLIVEIRA, A. S.; GHEYI, H. R.; SILVA, N. D. da. Área foliar de cacauzeiro irrigado e não sombreado cultivado no semiárido da Bahia. In: III Congresso Brasileiro Do Cacau, Ilhéus, Bahia, 2012.
- PRADO, R. M. Nutrição de Plantas. 1. ed. São Paulo: Editora UNESP, v. 1. 407 p, 2008.
- PRIOR, Maritane *et al.* Estudo da associação de água residuária de suinocultura e adubação mineral na cultura do milho e no solo. Engenharia Agrícola, v. 35, p. 744-755, 2015.
- SANTOS, A. C. S.; VARGAS, D. P. de; NACHTIGALL, G. R. Avaliação dos efeitos da fertirrigação e irrigação na solução do solo em pomar de macieira na região dos Campos de Cima da Serra. 2022. Monografia - Curso De Graduação Em Agronomia - Universidade Estadual Do Rio Grande Do Sul, Rio Grande Do Sul, 2022.
- SILVA, FRANCISCO LIMEIRA da *et al.* Yield of common fig fertigated with bovine biofertilizer in the semiarid region of Ceará. Revista Caatinga, v. 29, n. 02, p. 425-434, 2016.
- SILVA HOLANDA, Maria Eliana *et al.* Aplicação de aprendizado de máquina profundo para detecção por imagens de doenças em frutos do cacauzeiro. International Journal of Development Research, v. 11, n. 05, p. 47378-47384, 2021.
- SILVA, Tácio Oliveira *et al.* Crescimento inicial de mudas do pinhão manso submetidas à adubação orgânica em solos distintos. Scientia plena, v. 7, n. 8, 2011.
- SOUSA, G. G.; SANTOS, E. M. S.; VIANA, T. V. A.; OLIVEIRA, C. M. B.; ALVINO, F. C. G; AZEVEDO, B. M. Fertirrigação com biofertilizante bovino na cultura do feijoeiro. Agropecuária Científica no Semi-Árido, v.9, n.4, p 76-82, out-dez, 2013.
- SOUZA, T. M. A.; SOUSA, T.A.; OLIVEIRA NETO, H. T.; SOUTO, L. S.; DUTRA FILHO, J. A.; MEDEIROS, A. C. Crescimento e desenvolvimento inicial da cultura da moringa (*Moringa oleifera* Lam.) submetida à fertilização orgânica. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, Pombal, Paraíba, v.10, n.5 (ESPECIAL), p.103-107, Dezembro, 2015. DOI: <https://doi.org/10.18378/rvads.v10i5.4268>
- VANCE, C. P.; UHDE-STONE, C.; ALLEN, D. L. Phosphorus acquisition and use: Critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. New Phytologist, v. 157, p. 423-447, 2003
- VIANA, Anselmo Eloy Silveira *et al.* Efeito do comprimento e de incisões no córtex da maniva sobre o cultivo da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). Acta Scientiarum. Agronomy, v. 23, p. 1263-1269, 2001.



Viabilidade econômica na implantação de uma unidade de creche para suínos no sistema de integração em um município do oeste do Paraná

Guilherme Augusto Laufer
Tiago Hansel

DOI: 10.47573/ayd.5379.2.190.8

RESUMO

A implantação de uma unidade de creche para suínos no sistema de integração pode apresentar uma viabilidade econômica interessante. O sistema de integração é uma forma de produção agropecuária em que diferentes agentes econômicos se unem para desenvolver uma atividade conjunta, compartilhando riscos e benefícios. Este estudo teve por objetivo analisar a viabilidade econômico-financeira na implantação de aviários de corte no sistema de integração em um município do oeste do Paraná. Levando em consideração um período de produção de 12 anos, foram analisados os custos de implantação que ocorreram nos meses de fevereiro, março e abril de 2023, dados de receita, custo de manutenção e produção que ocorreram nos meses de fevereiro, março e abril de 2023 e uma estimativa para os anos futuros. A metodologia utilizada foi o estudo de caso com a realização da análise de dados cedidos pelo produtor. As informações coletadas foram relacionadas no programa Excel e após apresentadas na forma de tabelas. Foram calculados o Fluxo de Caixa, Taxa Interna de Retorno, Taxa Mínima de Atratividade, Valor Presente Líquido e Payback.

Palavras-chave: suínos. agropecuária. produção. sistema de integração.

INTRODUÇÃO

A suinocultura brasileira destaca-se no mercado internacional e nacional de carnes. De acordo com os dados EMBRAPA (2021), o Brasil é o quarto maior produtor e exportador, com 3,2% da produção, 12,5% das exportações e crescente inserção internacional. Em relatório divulgado pelo IBGE dia 15 de março de 2022 sobre o abate de suínos, dados mostraram que houve crescimento no setor de 9,12% no volume de produção de carcaças suínas e 7,32% em cabeças abatidas no ano de 2021 em relação a 2020.

Considerando a evolução da produção, exportação e consumo interno da carne suína, pode-se constatar a sua importância para a economia e sociedade, pelo grande volume comercializado no exterior, e pela possibilidade de abastecimento da população interna onde a dedicação dos produtores e a excelência na criação de suínos resultaram em um setor próspero e de relevância econômica. Com tecnologia avançada, boas práticas e um mercado consumidor crescente, a suinocultura brasileira se destaca como uma atividade agrícola estratégica, contribuindo para o abastecimento de alimentos e impulsionando o desenvolvimento sustentável do país.

O oeste do Paraná, mais especificadamente a cidade de Quatro Pontes, foi escolhido devido as inúmeras empresas do ramo da suinocultura instaladas na região.

A localidade de Quatro Pontes surgiu na década de 50, por meio da colonização organizada por uma empresa industrial madeireira. Tal companhia tinha os direitos sobre as terras com o objetivo de desmatar, para que rio-grandenses e catarinenses pudessem se assentar e colonizar a região (QUATRO PONTES, 2021).

Na década de 70, deu-se uma profunda modernização na agricultura com a integração da cultura mecanizada: a soja passou a ser o cultivo predominante, junto com o milho e o trigo. Este cultivo, entretanto, não é rentável em propriedades de 25 hectares, o que veio a provocar a anexação das pequenas propriedades, diretamente pela compra ou pela locação, de forma a otimizar a exploração agrícola (QUATRO PONTES, 2021).

O aumento dos custos e despesas nas atividades pecuárias tem feito com que o produtor procure, cada vez mais, formas e técnicas de investimentos para garantir sustento, lucratividade e longevidade para suas propriedades. A suinocultura nos últimos anos garantiu um espaço significativo na região oeste do Paraná devido aos investimentos de grandes empresas que fornecem o sistema de integração de suínos, por isso tem ganhado a atenção de produtores no município de Quatro Pontes e sua região.

Nessa perspectiva buscou-se resposta a seguinte questão de pesquisa: Existe viabilidade sob o aspecto econômico na implantação de uma Unidade de Creche (UC) no sistema integrado em um município do oeste do Paraná?

Para tanto, os seguintes objetivos específicos são delineados: a) conhecer o sistema de Integração na Suinocultura; b) levantar a viabilidade econômica na implantação de Unidade de Creche; c) analisar os dados, orçamentos e informações coletadas.

Este estudo justifica-se por tratar da importância de analisar o sistema integrado, que cabe ao produtor os custos da construção da unidade de creche, mão de obra e equipamentos. Já a integradora é responsável pelo fornecimento de suínos, ração, medicamentos, transporte de suínos ao abatedouro e assistência técnica.

SUINOCULTURA NO BRASIL E PARANÁ

De acordo com dados da EMBRAPA (2022), a carne suína é a fonte de proteína animal mais consumida em todo o mundo. O Brasil tem a quarta maior produção mundial com 4,983 milhões de toneladas produzidas, aumento de 5,99% em comparação do ano de 2021 com 2022. A produção tem destino para o mercado interno (78%) e externo (22%) com um consumo de 18kg de carne per capita. O plantel reprodutivo brasileiro é de 2.067.749 matrizes alojadas.

No 2º trimestre de 2022, foram abatidas 14,07 milhões de cabeças de suínos, um recorde desde o início da série histórica, em 1997 (IBGE, 2022).

De acordo com a ABCS, a movimentação de insumos para a produção de suínos, como rações, medicamentos, vacinas e aditivos alimentares, equipamentos, veículos, entre outros, foi de US\$ 5,52 bilhões, crescimento de aproximadamente 95% em relação a 2016, quando esse setor da suinocultura brasileira movimentou US\$ 2,82 bilhões.

Segundo a SECRETARIA DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO O Paraná (2020) produziu 936 mil toneladas de carne suína representando 21% da produção brasileira que é de 4,5 milhões de toneladas. Já o número de cabeças abatidas no Brasil totalizou 49.356.207 cabeças, sendo o Paraná responsável por 20% ou 9.956.537 cabeças. Na exportação o Paraná exportou em 2019 um volume total de 118 mil toneladas, representando 16% do total exportado pelo Brasil que foi de 745,6 mil toneladas.

Segundo Paula Labaki (2023), atualmente, o suíno é a proteína mais segura para o consumo humano, devida a severa fiscalização, a carne suína é supersegura. A suinocultura no Brasil, utiliza tecnologia de ponta e controle de processos, resultando uma carne de crescente qualidade e padrão.

A China é um fator decisivo para o cenário. A epidemia de peste suína africana que dizi-

mou a produção chinesa entre 2018 e 2019 abriu espaço para a carne suína brasileira. Em 2020, o país ultrapassou a marca de 1 milhão de toneladas exportadas para o mundo, um recorde histórico, segundo Ricardo Santin, presidente da Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA).

Há frigoríficos de abate de suínos instalados em Marechal Cândido Rondon, Assis Chateaubriand, Medianeira, São Miguel do Iguçu, entre outras cidades do oeste do Paraná, com atividades coordenadas por empresas privadas ou cooperativas. No caso da Frimesa, que no começo de 2023 inaugurou o maior frigorífico de suínos da América Latina, a planta instalada no município de Assis Chateaubriand tem capacidade de abate de 7880 suínos por dia. (JORNAL AMANHÃ, 2023).

Sistema de integração na suinocultura

Segundo o autor Felipe Hickmann (2019) os contratos entre as agroindústrias e os produtores rurais apresentam algumas particularidades no sistema de integração. Geralmente, o produtor disponibiliza o galpão e equipamentos cujas características devem atender aos padrões da integradora, além de entrar com a mão de obra, própria ou contratada. Por sua vez, a empresa integradora fornece os animais (pintos de corte de um dia ou leitões), ração e assistência técnica, além de arcar com os custos de transporte dos insumos para as propriedades e dos animais para o abate.

A produção suína é dividida em três etapas, Unidade Produtora de Leitões (UPL), Unidade de Creche (UC) e Unidade de Terminação (UT). Felipe Hickmann comenta também que na década de 90 os produtores realizavam o ciclo completo desenvolvendo todas as etapas da produção de suínos (maternidade + creche + terminação). Com o desenvolvimento, tecnologia e as genéticas aprimoradas, essas três etapas se segregaram para um melhor aproveitamento e desenvolvimento do suíno.

Quanto a remuneração, segundo a INFOTECA - EMBRAPA, na UPL é feita com o seguinte cálculo: $R = (A \times B \times C) + D$. Onde: R = remuneração (R\$) A = peso individual dos leitões entregues (kg) B = preço de referência (R\$/kg) C = indexador sobre o preço de referência com base nas faixas de peso dos leitões (índice) D = bonificação (%). Enquanto na UC e UT o cálculo é feito da seguinte forma: $R = (A \times B \times C) + D$ $B = f(CA \text{ média} - CA \text{ lote})$ ou mínimo de 2,5% Onde: R = remuneração (R\$) A = peso das carcaças entregues (kg) B = parcela do peso das carcaças entregues a ser recebida pelo suinocultor (%), calculado como uma função a partir dos diferenciais de conversão alimentar (CA) CA lote = conversão alimentar do lote entregue para abate CA média = conversão alimentar média de todos os lotes entregues para abate C = preço de referência (R\$/kg) D = bonificação (%).

Viabilidade econômica na implantação de uma unidade de creche

Neste sistema de integração cabe a empresa integradora os custos do fornecimento e transporte dos leitões, do fornecimento e transporte da ração, assistência técnica, medicamentos e do transporte dos suínos até a UT. O produtor rural integrado, arca com os custos da construção do barracão, da aquisição dos equipamentos, da mão de obra, da energia, aquecimento, lavagem, manutenções em geral das instalações e ventilação da UC.

Para se inicializar os investimentos é necessário que o produtor rural compreenda que

os primeiros investimentos serão gastos dele. Além disto, é preciso adquirir os equipamentos, tais como os comedouros, os bebedouros, os ventiladores e os aquecedores e dados relevantes para viabilidade do investimento.

Com o objetivo de ajudar o produtor responsável pela UC, é essencial realizar uma avaliação econômica e financeira, uma vez que essa análise permite estimar tanto o desenvolvimento dos produtos ou serviços quanto o desempenho financeiro associado aos resultados. Ao analisar os valores adicionados, é possível estimar o preço final do produto, considerando os custos e outros processos envolvidos. Além disso, é feita uma projeção do retorno esperado do investimento no projeto, avaliando-se a viabilidade da atividade em questão.

O projeto de investimento não deve ser encarado como uma forma de solicitar empréstimos bancários, mas sim como uma ferramenta de planejamento que deve ser empregada para verificar a viabilidade econômico-financeira do empreendimento.

Dentro dessa situação, os investimentos representam os custos que o empreendedor precisará incorrer para tornar seu projeto viável. É necessário estabelecer uma infraestrutura que inclui aquisição de bens e materiais, permitindo a implementação do negócio e o início das operações. Além disso, para estabelecer a empresa, o empreendedor terá despesas relacionadas a licenças (como alvará e registro de marca) e aquisição de ativos.

Métodos de avaliação econômica de investimentos

A fim de que o empreendedor possa realizar um investimento seguro e obter o retorno esperado em sua atividade, é fundamental conduzir uma análise de viabilidade do investimento. Para Bertoglio e Brasaga (2008) o investimento do capital deve ser realizado com calma e prudência, dado que esta decisão é de suma importância para que as entidades obtenham resultados esperados, tornando-se responsável por concretizar as estratégias e metas, reunindo esforços e meios para alcançar os objetivos.

Schroeder *et al.* (2005) recomendam a utilização de alguns fatores como: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Período de Payback (PB), e consideram sendo os mais eficientes na avaliação de projetos de investimentos.

Os métodos aplicados neste estudo para estimar a viabilidade do investimento são: Fluxo de Caixa, Taxa Interna de Retorno (TIR), Payback, Taxa Mínima de Atratividade (TMA) e Valor Presente Líquido (VPL).

O fluxo de caixa desempenha um papel fundamental como uma ferramenta administrativa essencial, pois permite prever a situação financeira do negócio ao longo do tempo. Ele considera as receitas e despesas projetadas da empresa quando elas são efetivamente recebidas ou pagas, ou seja, quando entram ou saem do caixa, em uma linha do tempo específica. A projeção do fluxo de caixa possibilita que o empreendedor antecipe quando a empresa terá recursos disponíveis ou quando será necessário obter dinheiro para cobrir um possível saldo negativo. Sua relevância reside na demonstração da liquidez do negócio ao longo de todo o período de projeção (FRANCO, 2010).

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é uma taxa de desconto fictícia que, quando aplicada a um fluxo de caixa, faz com que os valores das despesas, trazidos ao valor presente, sejam iguais

aos valores dos retornos dos investimentos, também trazidos ao valor presente. Esse conceito foi proposto por John Maynard Keynes com o objetivo de classificar vários projetos de investimento. Segundo essa abordagem, os projetos cujos fluxos de caixa tivessem uma taxa interna de retorno maior do que a taxa mínima de atratividade deveria ser selecionada (IUDÍCIBUS, 2010).

A fórmula da taxa interna de retorno se apresenta da seguinte forma:

$$VP = \text{capital} + \sum_{t=1}^N \frac{F_t}{(1+i)^t}$$

Eq. 1:

Sendo:

VP = valor presente

Capital = valor do investimento

N = quantidade de períodos

Ft = entrada de capital no período t

i = taxa interna de retorno

t = período (informativo)

Explicação da fórmula:

O VP é sempre igual a zero (a TIR calcula a taxa de desconto que deve ter um fluxo de caixa para que seu VPL seja igual a zero).

O capital equivale ao valor do investimento inicial e deve ser sempre negativo.

O N é a quantidade de períodos a serem analisadas, por exemplo, 6 meses, 1 ano, etc. O Ft é o valor da entrada de dinheiro no período t, por exemplo, se no quarto mês entrar R\$ 20 mil, informe esse valor (IUDÍCIBUS, 2010).

O Payback é o período de tempo necessário para que o negócio recupere o investimento inicial. Essa técnica é considerada precisa, além de ser fácil e intuitiva, pois utiliza o Fluxo de Caixa como base, em contraste com técnicas de retorno contábil. Juntamente com o VPL (Valor Presente Líquido) e a TIR (Taxa Interna de Retorno), o Payback é uma ferramenta fundamental para a análise de negócios. Quanto menor o período de Payback, mais atrativo é o empreendimento (FRANCO, 2010).

A taxa mínima de atratividade (TMA) representa a remuneração mínima que um investimento deve oferecer para ser considerado viável. Essa taxa indica a rentabilidade percentual necessária para que um investimento seja considerado significativo para o investidor. Além disso, a TMA também pode indicar a taxa máxima que o empreendedor está disposto a aceitar. Em outras palavras, é o parâmetro utilizado para avaliar se um investimento é atrativo o suficiente para justificar os recursos financeiros e o risco envolvidos.

Não tem como obter o VPL sem antes definir a Taxa Mínima de Atratividade. O Valor Presente Líquido (VPL) ajuda na análise de viabilidade de um investimento (FRANCO, 2010).

$$V_{PL} = \sum_{n=1}^{n=N} \frac{FC_t}{(1+i)^n}$$

Eq. 2:

Sendo: VPL = Valor Presente Líquido

FC = fluxo de caixa

t = momento em que o fluxo de caixa ocorreu

i = ou taxa mínima de atratividade

n = período de tempo.

METODOLOGIA

O tipo de pesquisa realizado neste estudo é classificado como um estudo de caso descritivo com caráter qualitativo e a pesquisa pode ser considerada documental, pois serão analisadas informações fornecidas pelo proprietário como notas, documentos, resultados obtidos na unidade já construída, orçamentos, entre outras formas de controle utilizadas para implementação da Unidade de Creche.

O local de estudo é no município de Quatro Pontes – PR, que conforme IBGE (2021), o município de Quatro Pontes está localizado no Oeste do Estado do Paraná, tem uma área de 141,393 Km². E tendo como cidades vizinhas: Marechal Cândido Rondon, Toledo, e Nova Santa Rosa. Possuindo uma população estimada em 4.043 habitantes, e distância de 574 quilômetros da Capital do estado do Paraná.

Na análise do investimento e viabilidade para a implementação da Unidade de Creche no sistema de integração no município de Quatro Pontes - PR, foram realizados todos os cálculos necessários. Isso incluiu a gestão de pequenas propriedades, as obras e a construção dos aviários, a análise da contabilidade de custos e o projeto de investimento. Foram utilizados métodos de avaliação econômica de investimentos, como Fluxo de Caixa, Taxa Interna de Retorno (TIR), Taxa Mínima de Atratividade (TMA), Payback e Valor Presente Líquido (VPL). Esses métodos foram aplicados para determinar a rentabilidade e a viabilidade do investimento, levando em consideração os fluxos de caixa projetados, a taxa mínima de atratividade e os critérios de retorno financeiro.

As variáveis analisadas representam as respostas obtidas por meio dos cálculos dos fluxos de investimento e das diferentes análises realizadas no método de avaliação econômica. A viabilidade do investimento pode apresentar um resultado positivo ou negativo, dependendo dessas análises. Em outras palavras, o resultado da viabilidade indicará se o investimento é considerado lucrativo ou não, com base nos critérios utilizados na avaliação econômica, como o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR), o Payback e outros. Esses resultados são importantes para a tomada de decisão sobre a realização ou não do investimento, considerando o aspecto financeiro.

Para realizar o cálculo da estimativa de custos, foram coletados dados relacionados aos

elementos que envolvem toda a atividade, tais como energia, água, mão de obra e madeira para a fornalha. Esses dados foram utilizados para quantificar e estimar os gastos associados a esses elementos durante a operação do negócio. Ao considerar esses fatores, é possível obter uma visão mais completa dos custos envolvidos na atividade, permitindo uma análise mais precisa da viabilidade do investimento.

Para verificar a estimativa dos indicadores financeiros, será realizado o cálculo do fluxo de caixa utilizando a média dos valores de fevereiro, março e abril de 2023 fornecidos pelo produtor. Os recursos utilizados como investimento foram coletados junto ao produtor e serão submetidos a cálculos de viabilidade financeira. Além disso, será feita uma verificação do valor final do leitão e da receita adquirida durante os meses analisados. Essas análises permitirão avaliar a rentabilidade do investimento, considerando os custos, receitas e o resultado financeiro obtido com a atividade de engorda de leitões.

ANALISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O gerenciamento de pequenas propriedades começa pela capacidade de produção. No caso do segmento de produção intensiva, em que os leitões são alojados na UC com capacidade de cinco mil unidades, por exemplo, são necessários investimentos financeiros significativos que muitas propriedades não têm condições de realizar.

A implementação de uma UC para suinocultura requer o cumprimento de várias normativas e regulamentações para garantir a segurança, o bem-estar animal e a conformidade ambiental. Algumas das normativas necessárias para a implementação de uma UC podem incluir: Licenciamento ambiental: É necessário obter uma licença ambiental junto aos órgãos competentes, como a agência ambiental estadual ou municipal. Isso envolve a avaliação e aprovação do projeto, levando em consideração aspectos relacionados à proteção do meio ambiente, controle de resíduos e tratamento de efluentes. Normas sanitárias e de bem-estar animal: É fundamental cumprir as normas sanitárias estabelecidas pelos órgãos de vigilância sanitária e as diretrizes de bem-estar animal. Essas normas visam garantir condições adequadas de criação, alimentação, higiene, manejo e cuidados com os animais. Zonamento rural: Verificar se a área onde o chiqueiro será instalado está em conformidade com as normas de zoneamento rural estabelecidas pelo município ou região. Isso inclui aspectos como distância de áreas residenciais, cursos d'água, estradas e outros estabelecimentos. Código Florestal: Observar as regras do Código Florestal brasileiro em relação à reserva legal, áreas de preservação permanente (APP) e demais exigências relacionadas à vegetação e ao uso do solo. É importante ressaltar que as normativas específicas podem variar de acordo com a localização geográfica e a legislação vigente.

O modelo da UC a ser construída será igual a unidade já construída na propriedade que conta com um barracão de 100 metros de comprimento por 17 de largura, climatização, automação, comedouros fixos de inox, piso de grelhas de plástico suspenso sobre piso de concreto com caimento para o esgoto, base do piso e divisórias das baias de fibra de vidro, instalações elétricas, materiais para construção em geral, encanamentos e dois fornos para climatização. A UC conta também com dois corredores centrais e é dividido em 80 baias podendo alojar 63 animais por baia com um total de 5040 leitões.

Com o objetivo de estimar os indicadores financeiros do estudo, foi desenvolvido o fluxo

de caixa para as diversas ações envolvidas. Os valores de investimento foram fornecidos com base em dados provenientes do orçamento de uma empresa de referência positiva da região. Esses dados serviram como parâmetro para estimar os gastos e receitas relacionados ao projeto em análise.

Buscou-se também bancos parceiros do produtor para o investimento em que a Caixa Econômica Federal forneceu as melhores taxas e formas de pagamento.

Com o objetivo de tornar mais compreensíveis os custos de implantação, despesas e outros elementos de gastos, os dados foram organizados em planilhas de custeio. Nas Tabelas 1 a 5, estão detalhados de forma mais precisa os valores utilizados para obter os resultados deste estudo. Essas tabelas fornecem uma visão clara e estruturada dos diferentes componentes de custos envolvidos no projeto, permitindo uma análise mais aprofundada e facilitando a compreensão dos dados utilizados na avaliação financeira.

Tabela 1 - Elementos para construção do galpão.

Fornecedor	Item	Preço	%
Crystal Spring	Comedouro	R\$ 169.160,00	6,76
Termoaves	Fornos	R\$ 120.000,00	4,8
Pisani	Grelhas	R\$ 223.941,09	8,957
Ajs	Instalações elétricas, automações e climatização.	R\$ 404.639,07	16,18
Rainha Pré Moldados	Barracão	R\$ 260.000,00	10,4
Irrigasul	Instalações hidráulicas	R\$ 15.018,00	0,6
Positivo	Materiais para construção em geral	R\$ 325.994,00	13,06
Randomix	Concreto para o piso, colunas e vigas	R\$ 90.000,00	3,6
Gsc	Divisórias e base das grelhas	R\$ 239.350,95	9,57
Mão de obra	Mão de obra	R\$ 651.896,89	26,08
Valor total		R\$ 2.500.000,00	100

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

A Tabela 1 apresenta os componentes que são necessários para a construção de um galpão na medida 100 x 17 exibindo os principais itens necessários e com base na UC já construída na propriedade em questão.

A análise dos dados segue com o fluxo de caixa para atingir resultados perante os índices de Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), com uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 10% ao ano e período de Payback.

O produtor conta com um contrato de parceria com a parceira integradora em que a parceira se obriga a fornecer no mínimo 7 lotes anuais de 5000 leitões. Levando em consideração a média de um lote a cada 52 dias.

A Tabela 2 demonstra o fluxo de caixa para cada lote produzido, sendo um período de 52 dias cada lote, levando em consideração sete lotes anuais.

Tabela 2 - Fluxo de caixa.

Serviços e insumos	Unidade	Quant. por lote	Valor unitário	Valor total POR LOTE	%
Mão de obra	Unidade	1	R\$ 10000,00	R\$ 10000,00	67,11
Lenha	M³	20	R\$ 85,00	R\$ 1700,00	11,41
Energia	Unidade	1	R\$ 3200,00	R\$ 3200,00	21,48
TOTAL				R\$ 14900,00	100

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

O custo médio de cada lote produzido que equivale a R\$ 14.900,00, como apresentado na Tabela 2, gerando um custo anual na produção de sete lotes de R\$ 178800,00 podendo ocorrer variações.

Tabela 3 – Financiamento.

Data	Prestação	AMORTIZAÇÃO	JUROS	Saldo
30/05/2023	-	-	-	R\$ 2.500.000,00
30/05/2024	R\$ 275.000,00	R\$ 250.000,00	R\$ 25.000,00	R\$ 2.250.000,00
30/05/2025	R\$ 302.500,00	R\$ 250.000,00	R\$ 52.500,00	R\$ 2.000.000,00
30/05/2026	R\$ 332.750,00	R\$ 250.000,00	R\$ 82.750,00	R\$ 1.750.000,00
30/05/2027	R\$ 366.025,00	R\$ 250.000,00	R\$ 116.025,00	R\$ 1.500.000,00
30/05/2028	R\$ 402.627,50	R\$ 250.000,00	R\$ 152.627,50	R\$ 1.250.000,00
30/05/2029	R\$ 442.890,25	R\$ 250.000,00	R\$ 192.890,25	R\$ 1.000.000,00
30/05/2030	R\$ 487.179,28	R\$ 250.000,00	R\$ 237.179,28	R\$ 750.000,00
30/05/2031	R\$ 535.897,20	R\$ 250.000,00	R\$ 285.897,20	R\$ 500.000,00
30/05/2032	R\$ 589.486,92	R\$ 250.000,00	R\$ 339.486,92	R\$ 250.000,00
30/05/2033	R\$ 648.435,62	R\$ 250.000,00	R\$ 398.435,62	-

Fonte: Caixa Econômica Federal (2023)

A tabela 3 consta a proposta de investimento oferecida pela Caixa Econômica Federal levando em consideração os elementos para construção informados na tabela 1. Foi utilizado a simulação por parte de recursos próprios da Caixa com o valor de R\$ 2.500.000,00 uma proposta para pagamento em 10 anos com uma taxa de 10% ao ano. O prazo para o termino da construção é de seis meses com previsão com base na unidade já construída de termino em 5 meses.

Tabela 4 - Receita líquida por lote.

Lote	Valor recebido por lote	Custo	Lucro por lote
21803	R\$ 76180,05	R\$ 14.900,00	R\$ 61280,05
21922	R\$ 63626,56	R\$ 14.900,00	R\$ 48726,56
LUCRO MEDIO	R\$ 69903,30	R\$ 14.900,00	R\$ 55003,30

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

A tabela 4 apresenta a receita líquida por lote levando em consideração os dois lotes já entregues pelo produtor menos o custo médio calculado na Tabela 2. Levando em consideração o contrato do produtor com a parceira integradora de sete lotes anuais e um lucro médio por lote de R\$ 55003,30, o parceiro terá um lucro anual médio de R\$ 385023,10.

Tabela 5 - Análise da viabilidade

Período (ano)	Fase	Valor médio anual do lote	Parcela	Valor de caixa
2023	Construção	-	-	R\$ -2500000,00
2024	Produção	R\$ 385023,10	R\$ 275.000,00	R\$ 110023,10
2025	Produção	R\$ 385023,10	R\$ 302.500,00	R\$ 196546,20
2026	Produção	R\$ 385023,10	R\$ 332.750,00	R\$ 244819,30
2027	Produção	R\$ 385023,10	R\$ 366.025,00	R\$ 263817,40
2028	Produção	R\$ 385023,10	R\$ 402.627,50	R\$ 246213,00
2029	Produção	R\$ 385023,10	R\$ 442.890,25	R\$ 188345,85
2030	Produção	R\$ 385023,10	R\$ 487.179,28	R\$ 86189,67
2031	Produção	R\$ 385023,10	R\$ 535.897,20	R\$ -64684,43
2032	Produção	R\$ 385023,10	R\$ 589.486,92	R\$ -269148,25
2033	Produção	R\$ 385023,10	R\$ 648.435,62	R\$ -532561,77
2034	Produção	R\$ 385023,10	-	R\$ -147538,67
2035	Produção	R\$ 385023,10	-	R\$ 237484,43
Investimento inicial 2.500.000,00 taxa de desconto 10%				

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

A tabela 5 apresenta o valor médio anual levando em consideração sete lotes conforme a tabela 4 subtraindo pelos valores das parcelas referente ao investimento junto a Caixa Econômica Federal apresentados na tabela 3.

Entre as análises de viabilidade de investimento utilizadas no estudo, encontra-se a Análise do Valor Presente Líquido (VPL), que consiste na soma de todos os valores do fluxo de caixa na data inicial do investimento. Este valor deve ser superior a zero para que o investimento seja considerado viável. A análise revelou um VPL de R\$ 604.319,17.

Ao calcular a Taxa Interna de Retorno (TIR), obteve-se uma taxa de 11%. A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) apresentou uma taxa de 1%, indicando que a atividade é lucrativa. Para que um investimento seja considerado viável, a TIR deve ser superior à TMA. O período de recuperação do investimento, conhecido como Payback, foi alcançado no décimo segundo ano.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo desta pesquisa foi ressaltar a importância da análise de viabilidade ao implementar uma Unidade de Creche no sistema de integração. A intenção era evidenciar a necessidade de uma gestão eficiente e uma análise criteriosa dos dados, a fim de determinar se o empreendimento é economicamente viável ou não, e também identificar em qual período ocorre o retorno do investimento.

Mediante a definição do problema proposto neste estudo que é: Existe viabilidade sob o aspecto econômico na implantação de uma Unidade de Creche (UC) no sistema integrado em um município do oeste do Paraná? Foram analisados os dados levando em consideração os métodos de análise de investimento. O estudo revelou que o investimento não se mostra favorável. Apesar da receita anual ser alta o custo de investimento é também, e observou-se que o retorno do capital investido veio apenas no décimo segundo ano de produção, demonstrando que demora muito tempo para se obter retorno. Além disso, o produtor gasta muito na manutenção da

Unidade de Creche e, conseqüentemente, o risco de prejuízo é tido como alto por não sobrar muito lucro líquido no final de cada período.

Após analisar os dados utilizando métodos de avaliação de investimentos, foi constatado que a implementação de uma Unidade de Creche no sistema integrado é uma atividade econômico-financeira que demanda um longo período para obter retorno do capital investido. A taxa interna de retorno foi considerada baixa, o que indica uma lucratividade limitada para o empreendedor nesse empreendimento.

REFERÊNCIAS

EMBRAPA QUALIDADE DA CARNE SUÍNA. Disponível em: <https://www.embrapa.br/qualidade-da-carne/carne-suina> Acesso em: 11/12/2022

EMBRAPA SUÍNOS E AVES. Disponível em: <https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas/suinos/brasil>. Acesso em: 03/06/2023

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Agência IBGE Notícias. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/34818-abate-de-suinos-no-2-trimestre-de-2022-e-o-maior-desde-1997>. Acesso em: 03/06/2023

O CONSUMO DE CARNE SUÍNA NO BRASIL. Disponível em: <https://vpjalimentos.com.br/o-consumo-de-carne-suina-no-brasil/>. Acesso em: 03/06/2023

MAPEAMENTO DA SUINOCULTURA BRASILEIRA – EMBRAPA. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/1355242/0/Mapeamento+da+Suinocultura+Brasileira.pdf>. Acesso em: 03/06/2023

BERTOGLIO, O.; BRASAGA, B. A. Projetos de investimentos, empreendedorismo e aspectos de mercado: caracterização e importância para as organizações. RACI – Revista de Administração e Ciências Contábeis do Ideau, Getúlio Vargas, v. 3, n. 7, jul/dez, 2008.

SUINOCULTURA INDUSTRIAL. Disponível em: <https://www.suinoculturaindustrial.com.br/imprensa/consumo-de-carne-suina-no-brasil-sobe-quase-20-e-exportacoes-batem-recorde/20230515-144422-s265#:~:text=De%20acordo%20com%20dados%20da,para%20a%20carne%20su%C3%ADna%20brasileira>. Acesso em: 03/06/2023

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS CRIADORES DE SUÍNOS. Disponível em: <https://abcs.org.br/>. Acesso em: 03/06/2023

SECRETARIA DE ESTADO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO – SEAB. Disponível em: <https://www.agricultura.pr.gov.br/Pagina/Suinocultura>. Acesso em: 03/06/2023

O SISTEMA DE INTEGRAÇÃO VERTICAL DE AVES E SUÍNOS EM PERSPECTIVA. Disponível em: <https://pt.linkedin.com/pulse/o-sistema-de-integra%C3%A7%C3%A3o-vertical-aves-e-su%C3%ADnos-weber-hickmann>. Acesso em: 03/06/2023

ESTRUTURA DOS CONTRATOS DE INTEGRAÇÃO NA SUINOCULTORA DE SANTA CATARINA. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/443735/1/publicacao0333i3k.pdf>. Acesso em: 03/06/2023

Quatro Pontes, PR, Prefeitura, História. Disponível em: <https://www.quatropontes.pr.gov.br/municipio/1/historia> Acesso em: 15/11/2022 19:02

PAULA LABAKI - O CONSUMO DE CARNE SUÍNA NO BRASIL. Disponível em: <https://vpjalimentos.com.br/o-consumo-de-carne-suina-no-brasil/>. Acesso em: 03/06/2023

JORNAL AMANHÃ. Disponível em: <https://amanha.com.br/categoria/negocios-do-sul1/frimesa-inaugura-o-maior-frigorifico-de-suinos-da-america-latina>. Acesso em: 13/06/2023

FELIPE HICKMANN. Disponível em: <https://pt.linkedin.com/pulse/o-sistema-de-integra%C3%A7%C3%A3o-vertical-aves-e-su%C3%ADnos-weber-hickmann>

SCHROEDER, Jocimari Três; *et al.* O custo de capital como taxa mínima de atratividade na avaliação de projetos de investimento. Revista Gestão Industrial, v. 1, n. 02, p. 036-045, 2005.

FRANCO, Hilário. Contabilidade Geral: campo de aplicação da contabilidade. 23 ed. São Paulo: Atlas. 2010.

IUDÍCIBUS, Sérgio de; Contabilidade Gerencial; 4ª edição; Ed. Atlas; São Paulo-SP, 2010.

FRANCO, Hilário. Contabilidade Geral: campo de aplicação da contabilidade. 23 ed. São Paulo: Atlas. 2010.



Sistema de drenagem urbana com base na infraestrutura verde

Urban drainage system based on green infrastructure

Marcos Rodrigues Frois

Faculdade de Ciência Tecnologia –FCT UNESP Presidente Prudente-SP

Alba Regina Azevedo Arana

Professora Adjunta do Programa de Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional - PPGMADRE. Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE

Adriana Emi Büchler Otakara

DOI: 10.47573/ayd.5379.2.190.9

RESUMO

O crescimento do espaço urbano em muitas cidades médias ocorre de forma rápida e na ausência de planejamento que integre todos os seus sistemas, como o sistema de abastecimento de água, esgoto, sistema de drenagem das águas pluviais, coleta de resíduos sólidos, entre outros, pode causar impactos ao meio ambiente, como as bacias hidrográficas nas áreas urbanas. Assim, o artigo procura discutir a drenagem e suas consequências enfocando as principais causas. A metodologia utilizada nesta pesquisa foi baseada na investigação qualitativa, utilizando-se de levantamento bibliográfico, da pesquisa de levantamento, pesquisa documental e coleta de dados e da observação direta intensiva. Os resultados apontam que o uso e ocupação do solo e ao subdimensionamento do sistema de drenagem se faz necessário num planejamento multidisciplinar, onde a macrodrenagem deve fazer parte do todo na infraestrutura urbana. Conclui-se que o planejamento multidisciplinar deve ser compatibilizado com outros planos e projetos de todos serviços públicos integrados, e principalmente, junto àqueles voltados à gestão das águas urbanas.

Palavras-chave: drenagem urbana. planejamento ambiental. águas pluviais. urbanização.

ABSTRACT

The growth of urban space in many medium-sized cities occurs quickly and in the absence of planning that integrates all its systems, such as the water supply system, sewage system, rainwater drainage system, solid waste collection, among others, can cause impacts to the environment, such as watersheds in urban areas. Thus, the article seeks to discuss drainage and its consequences, focusing on the main causes. The methodology used in this research was based on qualitative research, using bibliographic research, survey research, documentary research and data collection and intensive direct observation. The results point out that the use and occupation of the soil and the undersizing of the drainage system are necessary in a multidisciplinary planning, where the macro drainage must be part of the whole in the urban infrastructure. It is concluded that multidisciplinary planning must be compatible with other plans and projects of all integrated public services, and especially with those aimed at the management of urban waters.

Keywords: urban drainage. environmental planning. rainwater. urbanization.

INTRODUÇÃO

Muitas cidades brasileiras tiveram a sua expansão sem prévio planejamento em que o homem passou a ocupar e construir conforme seus interesses, gerando áreas urbanas desordenadas e desarticuladas que acabam por degradar os recursos naturais presentes nestas regiões.

Segundo Silva e Crispim (2011), e Barbieri (2004) na segunda metade do século XIX surge a preocupação para se preservar o meio ambiente (como o ar, corpos d'água e florestas) para protegê-las das intervenções do homem. Assim começa o crescimento da consciência ambiental nas cidades e o surgimento da gestão ambiental. Passa-se a entender que a cidade precisa expandir, mas de forma a conservar o meio ambiente.

As cidades estão em constante desenvolvimento e expansão. A fim de reduzir as consequências desse desenvolvimento, práticas de otimização das estruturas urbanas passam a ser consideradas no planejamento urbano. Estas práticas são realizadas através da eficiência energética nas obras civis, transporte integrado e multimodal, redução da geração e aproveitamento dos resíduos, integração entre os vários setores do planejamento urbano, entre outras ações (TANSCHKEIT, 2016). Pompêo (2000) explica que alguns obstáculos encontrados na realização de estudos integrados entre os sistemas urbanos dependem de múltiplos pontos de vista de concepção, de estratégias possíveis e decisórias.

A dificuldade para implantar a integração entre os setores responsáveis por planejar o desenvolvimento urbano pode estar relacionada à dificuldade que o homem tem de se portar em relação aos problemas de longo prazo, pois busca mais tempo para uma ação real por ter dificuldade de reconhecer as ações prejudiciais já causadas ao meio ambiente para poder enfim amenizá-las/ erradicá-las, o que pode causar danos irreversíveis ao meio ambiente (LOVELOCK, 2006). Este fato é evidenciado em cidades de médio e grande porte, por exemplo, que mostra um avanço da impermeabilização em detrimento das áreas permeáveis, o que possibilita pontos de alagamento em ocasião de chuvas intensas em regiões que apresenta um sistema de drenagem deficiente.

De acordo com Mendonça e Leitão (2008) a qualidade das águas pluviais que são transportadas para os mananciais através do sistema tradicional de drenagem urbana brasileira possui interferência direta dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), que degradam a qualidade das águas devido os seguintes fatores:

A modernização da gestão pública relacionada à gestão das águas trouxe uma reflexão e a necessidade de integrar as políticas hídricas com demais setores, como o caso da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, pois a água também passa a ser um elemento destrutivo de diferentes formas por ser um recurso vulnerável, normalmente quando associado a uma alta densidade populacional (NINA E SZLAFSZTEIN, 2015).

As políticas públicas são fundamentais para o desenvolvimento regional, como salienta Arana (2015 p. 11):

Assim sendo, as políticas públicas ambientais podem ser consideradas atualmente, como o apoio fundamental ao meio ambiente, pois é a partir delas que se direcionam decisões para a preservação, conservação e recuperação de ambientes naturais, rurais e construídos, apoiando processos de planejamento e gestão do território.

Desta forma, o estudo tem como objetivo discutir a drenagem urbana avaliando as causas para ocorrência de alagamento enfocando na infraestrutura verde.

MÉTODOS

A metodologia utilizada nesta pesquisa foi baseada na investigação qualitativa, que avaliou as características e particularidades da área de estudo, utilizando-se de levantamento bibliográfico, da pesquisa de levantamento e pesquisa documental.

No primeiro momento, foi realizada uma revisão bibliográfica dos temas referentes a drenagem urbana e a infraestrutura verde. Essa revisão permite identificar, conhecer, acompanhar

o desenvolvimento da pesquisa de uma determinada área. Buscou-se identificar os problemas gerados pela falta de planejamento ou por uma política de crescimento urbano mal elaborada e/ou administrada, bem como as consequências ambientais causadas pelas águas pluviais no meio urbano e as prerrogativas de um plano diretor.

Posteriormente, o trabalho apresenta resultados obtidos pelos estudos referentes a locais com características semelhantes às encontradas no estudo e que apresentaram sucesso em sua implantação. Esses estudos de caso permitiram aprofundar o conhecimento acerca de um problema definido visando estimular a compreensão das hipóteses sugeridas. O primeiro exemplo é sobre os parques fluviais de Duque de Caxias e Belford Roxo, RJ; a seguir o estudo de macrodrenagem em Tupã, SP; e a implantação de dispositivos de retenção de RSU em São Caetano do Sul, SP. E tendo essas referências, foram ressaltados os princípios que devem ser considerados para que se consiga elaborar um Plano Diretor de Drenagem Urbana com base nos princípios sustentáveis e que tenha aplicabilidade direta com as características da área estudada.

As informações dos mapas elaborados foram relacionadas ao Programa Municipal de Drenagem de 2010, principalmente no que se refere a identificação dos principais pontos recorrentes de inundação no Parque e o estudo das áreas impermeáveis.

URBANIZAÇÃO NO BRASIL E DRENAGEM URBANA

Pela característica histórica do processo de urbanização no Brasil, o sistema de drenagem foi (e ainda é em alguns casos) considerado como um sistema “acessório” no processo de parcelamento e uso do solo, conforme Canholi (2005) aborda, somente em alguns processos de urbanização acelerados foram consideradas a drenagem urbana no processo de planejamento de suas expansões. O processo de urbanização é conhecido por alterar significativamente os processos de escoamento natural da bacia hidrográfica. Ainda segundo o autor, uma característica marcante que afeta diretamente o sistema de drenagem urbana foi o aumento das áreas impermeabilizadas (quanto maior a densidade populacional maior as áreas impermeáveis) e a retificação e canalização dos córregos.

Conforme Souza *et al.* (2012), o sistema de drenagem nos primeiros planos de urbanização no Brasil consistia na canalização e afastamento do esgoto e das águas pluviais para os corpos d'água. Esta medida conhecida como higienista de drenagem foi baseada nos planos dos países desenvolvidos, principalmente os europeus.

Constatava-se o papel sanitário das águas pluviais como transmissor de doenças, além do odor incômodo pela retenção da água próximo aos locais ocupados pela população, passando a drenagem a ter um conceito higienista (TUCCI, 2008; SOUZA *et al.*, 2012).

Tomando esse modelo de infraestrutura surgiram basicamente três tipos de problemas: o primeiro devido ao escoamento acelerado, que aumentou as possibilidades de inundações, principalmente quando se trata em locais de fundo de vale (SOUZA *et al.*, 2012).

Esse conjunto de fatores resulta em “inundações, qualidade de água ruim, áreas degradadas com erosão e deposição de resíduos, proliferação de doenças e rios urbanos secos na estiagem devido a redução da recarga dos aquíferos” (TUCCI, 2005). Assim o problema é

simplesmente “transferido” para outro local sem que haja uma intenção de solucioná-lo e pode atualmente ser classificado como um grande problema urbano para o poder público.

Ainda conforme Souza *et al.* (2012), devido aos efeitos negativos do sistema de drenagem inicialmente implantados nos países desenvolvidos passam a implantar estações de tratamento para as águas urbanas a fim de evitar o lançamento direto nos corpos receptores. Porém, o Brasil não seguiu o mesmo padrão e continuou a lançar as águas diretamente nos cursos d’água. A adequação ao sistema gera obras de grande porte e custos elevados, o que é classificado pelo poder público como impraticável.

As premissas para implantação do sistema de macrodrenagem não devem se restringir apenas em como deslocar o volume das águas da chuva, mas a qualidade com que essas águas chegarão ao corpo d’água receptor. Visto que essas águas podem ser responsáveis pela poluição e contaminação dos cursos d’água, principalmente nos períodos de verão onde há precipitação com alto volume de águas, e que também favorece a propagação de doenças como leptospirose, relacionadas a enchentes e esgotos, por exemplo (CANHOLI, 2005).

Dessa forma, para melhor entender o planejamento para a implantação do sistema de drenagem serão abordados nos próximos tópicos a influência da precipitação nas cidades; a legislação no auxílio do controle da drenagem urbana; o plano diretor; e o papel da infraestrutura verde na drenagem urbana.

ADEQUAÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM COM BASE NA INFRAESTRUTURA VERDE: ALGUNS EXEMPLOS

As propostas aplicações com base na infraestrutura verde que já foram implantadas em locais que apresentavam problemas semelhantes aos encontrados na área do Parque, e que apresentaram um resultado satisfatório e conseguindo acabar com os problemas de inundações.

A proposta do Parque Fluvial de Duque de Caxias e Belford Roxo no Rio de Janeiro foi considerado por se tratar de um parque, que mesmo tendo uma grande área verde e permeável passou por problemas de alagamento e conseguiu através da infraestrutura verde melhorar as condições do escoamento das águas pluviais.

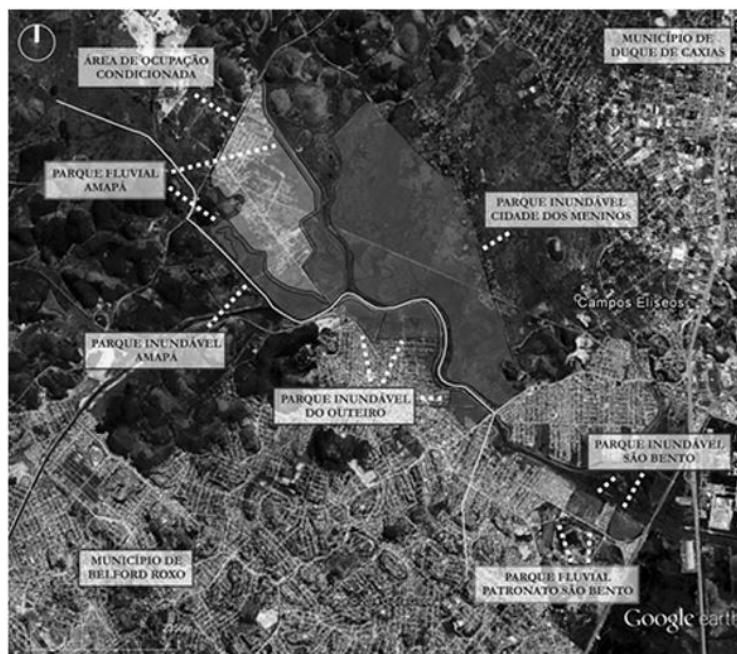
Já o Plano de Macrodrenagem da cidade de Tupã, em São Paulo, foi utilizado por ser uma cidade próxima a Presidente Prudente – SP e que também passava por problemas de alagamentos na área urbana e que foram efetivamente solucionados através da implantação e execução do Plano de Macrodrenagem que foi desenvolvido considerando as características locais.

Por fim foi utilizado o exemplo do dispositivo de retenção de RSU na cidade de São Caetano do Sul, também em São Paulo, que mostrou sucesso no controle do RSU no sistema de drenagem urbano, que se mostra de fácil adequação aos sistemas já implantados nas cidades brasileiras, já que estudos mostram que em longo prazo a poluição difusa que é transportada pelas águas pluviais podem afetar os corpos hídricos de forma negativa.

Parque Fluvial de Duque de Caxias e Belford Roxo, Rio de Janeiro

A Bacia do Rio Iguaçu-Sarapuí possui área de drenagem equivalente à 727 km², dentre estes, 168 km² pertencem à sub-bacia do Rio Sarapuí (CARNEIRO; CARDOSO; AZEVEDO, 2008). Os parques existentes na região se encontram entre os municípios de Duque de Caxias e Belford Roxo, Rio de Janeiro e podem ser visualizados na Figura 1.

Figura 1 - Medidas de controle de cheias propostas para a bacia dos Rios Iguaçu-Sarapuí, Duque de Caxias e Belford Roxo, Rio de Janeiro.



Fonte: COPPETEC (2009).

Nota-se proposições gerais para as bacias dos rios Iguaçu-Sarapuí, à medida que a Figura 20 apresenta em detalhes os Parques urbanos fluviais¹ Amapá; e Urbanos Inundáveis Amapá; Outeiro; São Bento e Cidade dos Meninos. Estes Parques, além de preservarem o meio ambiente local, mantêm a função de amortecimento natural das cheias nos períodos de possíveis inundações.

Carneiro, Cardoso e Azevedo (2008), através da pesquisa denominada de “Projeto Iguaçu”, buscaram identificar as causas de inundações da bacia (Figura 2). Foi diagnosticado que as inundações decorrem do processo de ocupação e uso do solo, inadequado às condições particulares da Baixada Fluminense:

Miguez, Veról e Rezende (2015) observaram que a criação de Áreas de Proteção Ambiental ou APAs formais, junto a um plano de uso de solo controlado e uma gestão de recursos hídricos planejada, foram positivamente responsáveis pelo controle de inundações. Este projeto visava a articulação de dragagens e recuperação de canais já existentes. Algumas medidas se concentram na proposição de parques fluviais de preservação de margens, armazenamento e de valorização ambiental, além de medidas não estruturais, como disciplinamento no planejamento de uso do solo, criando áreas de proteção ambiental para controle de futuras cheias. Acrescen-

¹ Os parques fluviais difundiram-se inicialmente no Rio de Janeiro a fim de coibir a degradação das margens dos rios fluminenses, causada principalmente pelas ocupações ao longo dos rios. A ideia de Parque Fluvial deve estar sempre relacionada a uma estratégia para uso e proteção das margens de um rio [...] Esses parques serão projetados para prevenir a ocupação desordenada das margens dos rios; recuperar a vegetação; e preservar os recursos naturais de uma região, favorecendo o desenvolvimento de diversas atividades culturais, lazer, esporte e turismo (MMA, 2019).

tam Miguez, Veról e Rezende (2015) a discussão para conciliar os instrumentos de ordenamento do solo e as diretrizes da Política Nacional de Recursos Hídricos e da Política Nacional de Saneamento identificou possíveis paradigmas que levou a alternativas para uma gestão integrada das bacias metropolitanas.

Figura 2- Projeto Iguaçu e áreas de intervenção.



Fonte: Gomes (2011).

Até o ano de 2015 foram propostas intervenções e com o Projeto Iguaçu, criaram-se condições locais para o uso e controle do solo urbano, iniciativas e campanhas educacionais ambientais. As alternativas englobariam a construção de uma barragem a montante – trecho do alto rio – com capacidade de amortecer as cheias e controlar os extravasamentos de calha, ainda pela adoção de uma solução de requalificação fluvial, somadas ao trabalho de recuperação das margens e planícies afetadas pela inundação, adicionando medidas de drenagem sustentáveis na área urbanizada da bacia. De forma geral, os planos voltaram-se para reversão da degradação de corpos hídricos e principalmente às melhores condições de escoamento da água pluvial (CARNEIRO, 2008; MIGUEZ, VERÓL, REZENDE, 2015).

Plano de Macrodrenagem de Tupã – SP

Em relação à drenagem urbana, a Administração Municipal de Tupã viabilizou, no ano de 2006, recursos do Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO), para a elaborar Estudos de Macrodrenagem Urbana. Estes estudos elegeram ações prioritárias, a implantação do Plano de Macrodrenagem, com etapas de Caráter emergencial, entre 2008 e 2012, sendo denominada de Plano de Ação Imediata (PAI) (BENINI, 2015).

Ao constatar que os canais, Ribeirão Afonso XIII, Cônego Rebouças e Córrego Modelli estavam comprometidos pela falta de manutenção, foram propostas a implantação de “programa de manutenção sistemática e preventiva”.

Compreendendo medidas estruturais, a primeira etapa foi de “execução de reservatórios de retenção a céu aberto nos braços direito e esquerdo Ribeirão Afonso XIII; e microdrenagem

e rede de esgotos concomitantes”, afim de aumentar os ramais e executar reservatórios de retenção (BENINI, 2015, p. 98). Já a segunda etapa compreendia as medidas de médio e longo prazo (2014 a 2027), Plano de Ação Continuada (PAC) (FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA, 2008, p. 27 – 90). Completa Benini (2015, p. 98):

Esse plano tem por objetivo orientar a implantação de elementos de macrodrenagem nos loteamentos existentes e que venham a surgir dentro do horizonte do plano (2027) nas bacias em processo de urbanização. O Plano de Ação continuada conjuga medidas estruturais (intensivas e extensivas/ compensatórias) e medidas não estruturais, as quais contribuem para implantação de um sistema de drenagem urbana sustentável na cidade de Tupã.

Algumas medidas estruturais devem ser implantadas até 2025. Estas compreendem os Parques Lineares (Ribeirão Afonso XIII, Cônego Rebouças e Córrego Modelli), onde a seção do canal deverá ser de grama e concreto e ainda a implantação de “microdrenagem em todos os novos loteamentos” (BENINI, 2015, p. 98). As medidas estruturais compensatórias compreendem:

Proteção contra inundações (medidas de proteção individual das edificações em áreas de risco); aumentar a permeabilidade do solo urbano, por meio de tipologias da infraestrutura verde; aumentar a conectividade dos espaços verdes; Bacias de retenção alagadas. Bacias de retenção secas; Bacias de percolação; Faixas gramadas – faixas vegetadas; Planos e Valas de infiltração; Poços de infiltração; Reservatórios individuais ou em lotes; telhados armazenadores / Telhados vegetados; Trincheiras de infiltração em ruas; Utilização de pavimentos permeáveis; Valetas gramadas; Controle da erosão (Voçorocas) (BENINI, 2015, p. 99)

Durante pesquisas, Benini (2015) constatou que algumas medidas do PAC (previstas para execução no período de 2014 a 2027), foram executadas já no ano de 2009, como a medida estrutural de implantação de Parque Linear localizado na Ribeirão Afonso XIII e a exigência da implantação de microdrenagem em todos os novos loteamentos. Algumas medidas compensatórias, como a infraestrutura verde que possibilita a permeabilidade no solo urbano; o aumento da conectividade de espaços verdes; bacias de retenção secas; uso de pavimentos permeáveis e controle erosivo com voçorocas também foram realizadas. Entre as medidas não estruturais não constam: o seguro contra inundações; sistema de alerta; supervisão e controle de cheias e a disposição e destinação adequada dos resíduos sólidos urbanos.

Em geral, com o PAC, foi possível constatar benefícios de qualidade ambiental e vida da população, sendo verificado a partir de efeitos institucionais e ações consolidadas do Plano de Macrodrenagem.

Em atendimento às medidas estruturais e não estruturais do Plano de Macrodrenagem, Benini (2015, p. 161) relata que o Art. 70 de “Parcelamento de solo”, Lei Complementar nº 170/2009, obedece à qualificação que:

§ 1º Os loteamentos obedecerão às diretrizes gerais e dependerão de prévia aprovação da Municipalidade.

I - a infraestrutura dos parcelamentos deverá ser constituída pelos equipamentos urbanos de escoamento das águas pluviais, iluminação pública, esgotamento sanitário, abastecimento de água potável, energia elétrica pública e domiciliar e vias de circulação com guia, sarjeta, calçadas, asfalto e arborização;

II - o escoamento das águas pluviais será dado através da construção de galeria de águas pluviais, dimensionadas de acordo com a bacia de contribuição, com captação em todo loteamento e condução até o local adequado, incluindo escadarias, dissipadores, ou obra conforme especificada pela municipalidade.

O dispositivo legal (Artigo 70, § 1º, Inciso I e II, da Lei Complementar Nº 170/2009), de certa forma, obrigou empreendedores e loteadores a implantar equipamentos urbanos como galerias, escadarias e dissipadores, para que houvesse a drenagem das águas pluviais. Além da obrigatoriedade de destinar 20% de uso comum para implantação parques e/ou jardins, que pudessem servir como equipamentos esportivos e de lazer. Benini (2015, p. 162) ressalta que “essa medida permitirá não só a oferta de áreas verdes públicas, mas também, permitirá a ampliação das áreas permeáveis na área urbana”.

Seguindo as recomendações do Plano de Macrodrenagem, além da implantação dos parques lineares, esses canais de drenagem onde estavam sujeitos a alagamentos – como a Microbacia do Afonso XII – foram demarcados como Zona de Ocupação Controlada (ZOC). Como medida protetiva, estabeleceu-se na Lei Complementar Nº 170/2009, que a demarcação de Áreas de Preservação Ambiental (APA): as quais foram demarcadas:

I - nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados “olhos d’água”, qualquer que seja a sua situação topográfica da área urbana, tem uma área de preservação ambiental, num raio mínimo de 50 (cinquenta) metros de largura;

II - são consideradas áreas de preservação ambiental aquelas localizadas na área urbana, até o limite 30 (trinta) metros da margem dos cursos d’água (BENINI, 2015, p. 163)

Houve ainda a preocupação perante o processo de urbanização das ZOC, restringindo ampliações de novas edificações (cunho residencial, comercial e industrial). Bem como a proibição de bota-foras e acúmulo de resíduos. Ressalta ainda a proibição do desmatamento e a obrigação de recuperar a cobertura vegetal com o plantio de árvores.

Nos casos que em não houver cumprimentos dos índices urbanísticos (Quadro 2), seriam efetuadas cobranças equivalentes à 3 vezes o valor do IPTU, de Outorga Onerosa do Direito de Construir calculado sobre a área incidente (§ 1º, do Art. 74, da Lei Complementar Nº 170/2009), pois se entende que as unidades individuais (lotes) são fundamentais para o controle das cheias.

Quadro 1- Índices urbanísticos da área urbana de Tupã, SP.

Zoneamento	Taxa de Ocupação (%)	Coefficiente de Permeabilidade
Zona Exclusivamente Residencial (Artigo 38)	60	20
Zona Preferência Residencial (Artigo 40)	60	20
Zona Preferência Empresarial	70	20
Zona Exclusivamente Empresarial	70	20
Área de Preservação Ambiental Urbana	00	90
Zona Ocupação Controlada – A	50	40
Zona Ocupação Controlada – B	10	90
Zona Especial de Interesse Ambiental – A 10	10	90
Zona Especial de Interesse Ambiental – B	10	90
Zona Especial de Interesse Ambiental – C	70	20

Fonte: Lei Complementar nº 170 (2009).

Até ano de 2015, o Plano Diretor de Desenvolvimento Sustentável institucionalizou grande parte das recomendações contidas no Plano de Macrodrenagem. Este fato contribuiu nas adequações do sistema de infraestrutura urbana e ainda trouxe qualidade ambiental para o município de Tupã.

Dispositivos de Retenção do RSU

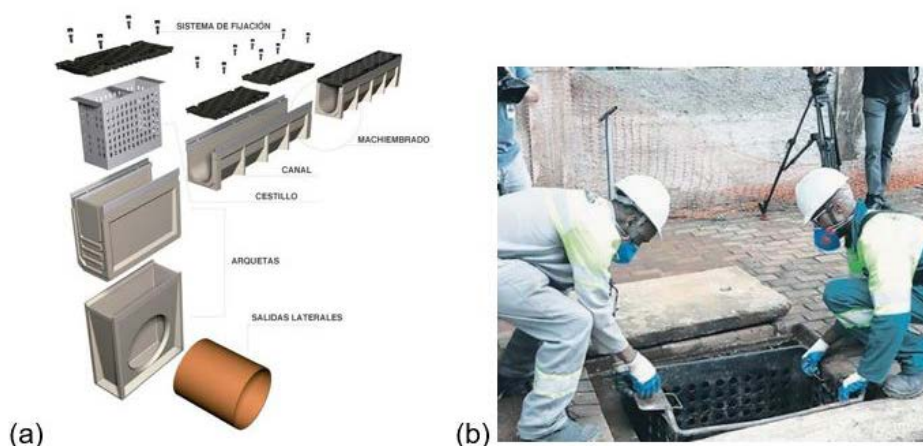
Como foi verificado no estudo, o RSU não é um fator que causa e/ou favorece a ocorrência dos pontos de inundação na região do Parque do Povo, porém, um cenário comum no Brasil é o acúmulo de RSU na rede de drenagem. O acúmulo, por sua vez, acarreta a obstrução dos dispositivos de captação e transporte de águas pluviais, como alguns autores abordados no item 2 relatam em seus trabalhos que o RSU descartado incorretamente e que chegam ao sistema de drenagem podem causar problemas a longo prazo nos corpos hídricos receptores dessas águas (NEVES, 2006; BENINI, 2015; TUCCI, 2016).

Dessa forma, considera-se a proposta para se possa utilizar o sistema de drenagem para a retenção dos RSU a fim de evitar que esses cheguem a ser despejados nos corpos hídricos como o dispositivo de retenção utilizado em São Paulo – SP.

Através de recursos disponibilizados pela FEHIDRO, Fundo Estadual de Recursos Hídricos, Ministério das Cidades. A implantação de dispositivos de retenção de RS em São Caetano do Sul, SP, tinha como objetivo principal o controle da disposição de materiais na rede drenagem, de forma a agilizar e facilitar a retirada residual e otimizar a eficiência das galerias de drenagem. A intervenção realizada constituiu na instalação de caixas de retenção de resíduos dentro das bocas de lobo em áreas críticas de inundação. O sistema é composto por elementos como canais, caixotões, grelhas, sistema de fixação, cesto de retenção e saídas laterais (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CAETANO DO SUL, 2013).

Já a cidade de São Paulo, que passa constantemente por problemas de alagamentos, Conforme Meneghetti (2016), passa a implantar na parte noroeste da cidade um sistema inteligente de cestos de retenção de RSU nos bueiros próximo as áreas de maior ocorrência de alagamentos da região. Esses equipamentos são monitorados em tempo real do volume de RSU do dispositivo através de aplicativos que podem ser acessados por celulares das equipes que atuam na área. Foi constatado que entre novembro e dezembro de 2015 a área de teste passou por treze ocorrência de alagamentos. Os equipamentos tiveram o início de sua instalação em dezembro de 2015. Já entre fevereiro e março de 2016 somente dois alagamentos foram registrados (MENEGETTI, 2016).

Figura 2 - Cestos de retenção: (a) Composição estrutural; (b) Higienização do cesto com RSU retidos. (b)



Fonte: Ulma Architectural Solutions (2018); Meneghetti (2016).

Em fase de testes, a instalação contemplaria 30% das bocas de lobo de todo o município. Entretanto, o sistema de retenção deveria ser monitorado, sendo periodicamente submetido a limpeza com desobstrução mecanizada das bocas de lobo (hidrojateamento de alta pressão, ou combinado com sucção à vácuo, esgotamento de tubulações, entre outros). Meneghetti (2016) ressalta que esse tipo de dispositivo (ou cestos) demanda ações rápidas e de manutenção, pois pode ocorrer a obstrução do sistema de captação, em dias secos, e conseqüentemente alagamentos no município em períodos de chuva intensa.

A qualidade das águas pluviais na área urbana também está ligada ao uso e ocupação do solo, pois por sua propriedade de solvente universal, ampla capacidade de transportar partículas e incorporar diversas impurezas, pode afetar as condições naturais das águas subterrâneas, através do escoamento superficial e da infiltração no solo (VON SPERLINGO, 1996; BRAGA, 2017).

Benini (2015) relata que os registros das precipitações mais expressivas estão relacionados às notícias nos meios de comunicação sobre a ocorrência do “comprometimento dos sistemas de drenagem pluvial urbana, criando pontos de inundação, causando prejuízos materiais, além de eventuais sinistros mais graves, representados por perdas humanas” (BENINI, 2015, p.55).

Portanto, a interferência humana, seja ela na forma concentrada ou dispersa, contribuem para modificação de aspectos inerentes à água pluvial (BUCALEM, 2012). Esses aspectos mostram a necessidade de uma adequação da estrutura de áreas que já mostram ocorrência de inundações através de técnicas adequadas à mitigação desses problemas.

Assim, ações que auxiliem na manutenção da estrutura urbana e meio ambiente e que busquem a sustentabilidade, garantem um sistema de drenagem das águas pluviais eficiente para evitar a ocorrência de alagamentos/acidentes e auxiliará na manutenção e conservação da qualidade das águas dos corpos hídricos nas áreas urbanas e nas suas proximidades.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os problemas causados no espaço urbano pela falta de drenagem e planejamento integrado com todos os sistemas, principalmente do que se refere ao sistema de canalização das águas pluviais, a topografia da região e a leis, normas para as edificações, levaram a ocupação dos lotes sem garantir uma parcela de área permeável contribuem para a ocorrência com maior frequência dos pontos de alagamento.

Fatores como a topografia, o subdimensionamento do sistema de drenagem e a alta impermeabilidade em relação ao uso e ocupação do solo, junto ao fator permissivo e facultativo de haver áreas permeáveis em usos comerciais e prestação de serviços agravam a problemática das inundações nos pontos críticos.

A intervenção do poder público é fundamental para que o cenário seja alteração, a partir de ações principalmente no que se refere as reformas estruturais que sejam planejadas com atendimento a curto e longo prazo; continuidade dos planos mesmo com as mudanças na gestão municipal; revisão, reformulação e implantação de novas leis e diretrizes envolvendo os índices urbanísticos.

Se faz ainda mais necessária uma ação multidisciplinar para as obras de infraestrutura e planejamento urbano. O estudo possibilita a intervenção através de medidas baseadas na infraestrutura verde que obtiveram eficácia junto aos projetos de macrodrenagem. Formalizar uma ação integrada na qual, o setor de obras das prefeituras possa fazer parte da visão global no planejamento urbano. E ainda, integrar setores responsáveis pelo planejamento das águas pluviais, abastecimento de água potável e coleta de esgoto e resíduos sólidos urbanos.

REFERÊNCIAS

ARANA, A. R. A. Resíduos e seus potenciais impactos no pontal no Paranapanema: agroenergia, saúde, meio ambiente e políticas públicas. Programa de Pós Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional – MMADRE. Presidente Prudente: Unoeste, 2015.

BARBIERI, J. C. Gestão ambiental empresarial. São Paulo: Saraiva, 2004.

BENINI, S. M. Infraestrutura verde como prática sustentável para subsidiar a elaboração de planos de drenagem: estudo de caso da cidade de Tupã/SP. Tese (Doutorado) – Pós Graduação em Geografia. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, São Paulo, 2015.

BRAGA, R. M. B. Estudo da remoção de poluentes de drenagem urbana por um dispositivo de bioretenção. 2017. 67 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal de Alagoas, Alagoas, 2017.

BUCALEM, M. Plano Diretor de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais de São Paulo PMAP-SP. 2012. Disponível em: < https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/desenvolvimento_urbano/arquivos/comite_clima/plano_diretor_de_drenagem_201200712_fundap.pdf>. Acesso em: nov. 2018.

CANHOLI, A. P. Drenagem urbana e controle de enchentes. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

CARNEIRO, P.R.F; CARDOSO, A.L.; AZEVEDO, J.P.S de. O planejamento do uso do solo urbano e a gestão de bacias hidrográficas: o caso da bacia dos rios Iguaçu/ Sarapuí na Baixada Fluminense. Cadernos metrópole, 19 p. 165-190, 10 sem. 2008.

COPPETEC. Plano Diretor de Recursos Hídricos, Recuperação Ambiental e controle de inundações da bacia do rio Iguaçu-Sarapuí. Lab. de Hidrologia e Estudos do M. Amb, COPPE/UFRJ, 2009.

GOMES, R. Parque inundável de Duque de Caxias. 2011. Disponível em: <<http://projetoiguacupaclotexv.blogspot.com/2011/03/parque-inundavel-de-duque-de-caxias.html>>. Acesso em: 08 jan. 2019

LOVELOCK, J. Gaia: cura para um planeta doente. Tradução Aleph Temya Eichenberg, Newton Roberval Eichenberg. São Paulo: Cultrix, 2006.

MENDONÇA, F. D. A.; LEITÃO, S. A. M. Riscos e vulnerabilidade socioambiental urbana: uma perspectiva a partir dos recursos hídricos. GeoTextos. V. 4, n. 1 e 2, p. 145-163, 2008. Disponível em: < <http://www.portalseer.ufba.br/index.php/geotextos/article/viewFile/3300/2413>> Acesso em: 06 out. 2017.

MENEGHETTI, L. Bueiro equipado com sensor diminui alagamentos em SP. 2016. Disponível em: <https://www.dci.com.br/dci-sp/bueiro-equipado-com-sensor-diminui-alagamentos-em-sp-1.396708>. Acesso em: 05 dez. 2018.

MIGUEZ, M.G.; VERÓL, A.P.; REZENDE, O.M.R. Drenagem urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

NEVES, M. G. F. P. D. Quantificação de resíduos sólidos na drenagem urbana. 2006. 227f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

NINA, A. S.; SZLAFSZTEIN, C. F. Água, Recurso Natural e Passivo Ambiental: relações entre a Política Nacional de Recursos Hídricos e a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil. XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Brasília, 2015.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CAETANO DO SUL. Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de São Caetano do Sul Abril de 2013. 2013. Disponível em: < http://www.saesascsp.gov.br/downloads/residuos-solidos/PGIRS_SCS.PDF >. Acesso em: 03 abr. 2019.

POMPÊO, C. A. Drenagem urbana sustentável. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Jan-Mar 2000, v. 5, n. 1, pp. 15-23. Disponível em: < https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/46/c6be0bdb36e71f441b574b6a63d5a75a_2d24ccc39dcc0666232d4d538fcef31f.pdf > Acesso em: 05 jun. 2018.

SILVA, V. B.; CRISPIM, Jefferson de Queiroz. Um breve relato sobre a questão ambiental. Revista Geomae, Campo Mourão, v. 2, n. 1, p. 163-175, 1º Sem. 2011.

SOUZA, C. F.; CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M. Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: planejamento e tecnologias verdes para a sustentabilidade das águas urbanas. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 17, n. 2, p. 9-18, abr./jun. 2012.

TANSCHEIT, P. O que torna uma cidade inteligente? 2016. Disponível em: <http://thecityfixbrasil.com/2016/08/16/o-que-faz-de-uma-cidade-inteligente/>. Acesso em: 03 out. 2016.

TUCCI, C. E. M. Gestão de águas pluviais urbanas. Ministério das Cidades – Global Water Partnership – World Bank – Unesco, 2005.

TUCCI, C. E. M. Gestão integrada das águas urbanas. REGA, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 71-81, jul./dez. 2008.

TUCCI, C. E. M. Regulamentação da drenagem urbana no Brasil. REGA, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 29-42, jan./jun. 2016.

TUPÃ (Município). Lei Complementar nº 17, de 15 dezembro de 2009. Dispõe sobre o Plano Diretor da Estância Turística de Tupã

ULMA ARCHITECTURAL SOLUTIONS. Canais de drenagem. 2018. Disponível em: <<http://www.ulmaarchitectural.com/br/canais-de-drenagem/informacao-tecnica/sistema-completo-drenagem/>>. Acesso em: Nov. 2018.

VON SPERLING, M. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Lagoas de Estabilização, v.03. Minas Gerais: ABES, 1996



A qualidade dos efluentes dos supermercados em Manaus

Juciney da Silva Freitas
Renata Lima Borges Freitas
Diego Rocha Sabino Monteiro
Iolene Maria de Moraes de Oliveira
Aline Gabriela Silveira Araujo

DOI: 10.47573/ayd.5379.2.190.10

RESUMO

Considerando os recursos passíveis de impacto pelo descarte dos efluentes dos supermercados da cidade de Manaus, os corpos hídricos são os mais afetados devido a pouca fiscalização dos órgãos competentes. A legislação brasileira e a estadual definem as responsabilidades pelo tratamento de efluentes, bem como o sistema de financiamento do tratamento. Também definem os padrões de qualidade das águas onde os efluentes tratados devem ser lançados. (Constituição Federal de 1988: Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.) Ainda de acordo com a legislação brasileira, define-se impacto ambiental como qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança e o bem-estar da população, as atividades sociais e econômicas, a biota, as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente a qualidade dos recursos ambientais (CONAMA, 1986).

Palavras-chave: legislação. descarte dos efluentes. qualidade das águas.

INTRODUÇÃO

Estabelecer critérios definidores para a utilização dos recursos hídricos é condição pre-cípua para minimizar os efeitos que sua utilização inconsequente e descompromissada tem causado ao homem e ao meio ambiente, muitas das vezes deixando sequelas irreversíveis.

Por se tratar a água de um bem de domínio público, de uso comum do povo, e diante do despertar das pessoas para a realidade, em que os recursos hídricos se encontram cada vez mais escassos, cuja importância é indubitável para vida, surgiu o imperativo de que o uso das águas deve obedecer a regulamentos administrativos, impostos por quem exerce o seu domínio. Os resíduos líquidos dos supermercados podem causar impacto em todos os setores, atividades e compartimentos citados na legislação, justificando a necessidade de se ter um profundo conhecimento de suas relações com o ambiente e seu ecossistema.

Não somente na cidade de Manaus, mas podemos perceber que em vários outros municípios da Amazônia encontramos problemáticas idênticas, ou seja, o despejo de efluentes não tratados diretamente em rios e igarapés, sem a devida fiscalização se torna um hábito constante. (Lopes, 2008).

Assim justifica-se a execução desta amostragem para caracterizar a qualidade das águas dos efluentes dos supermercados e qualificar o potencial impacto ambiental que estes poderiam promover nos corpos hídricos e no ambiente como um todo.

METODOLOGIA UTILIZADA

Para a realização do artigo foram utilizados métodos como testes de Cloreto, Dureza, Oxigênio Dissolvido (OD), Amônia, Cloro livre (DPD), Ferro, Ortofosfato, pH, Turbidez e Temperatura. Realizados em uma amostra de água dos corpos hídricos e das águas que são despeja-

das pelos supermercados (S1, S2 e S3).

O Supermercado 1 (S1) (Imagem 1) faz o seu descarte de águas no Igarapé do Sete, pertencente a micro bacia hidrográfica do Mindú. A nascente do Igarapé do Sete está situada no bairro Cidade de Deus zona norte da cidade, que apresenta água corrente de cor marrom transparente e mata ciliar preservada. Nesta área, o igarapé detém médias de temperatura entre 27,0 a 28,0°C (Lopes, 2008). O igarapé compõe a micro bacia do Mindú, seu leito corre de norte a sul em relação ao sítio da cidade de Manaus terminando na assim na bacia do São Raimundo.

Imagem 1 – Imagem de Satélite e mapa do S1.



Figura 1 – Emissão de efluente do S1 (1), Igarapé do Sete (2) onde é despejado o efluente.



O Supermercado 2 (S2) (Imagem 2) faz o seu descarte de águas no parque Sumaúma. O Parque Estadual Sumaúma foi criado através do decreto nº23.721 de 5 de setembro de 2003 com uma área de 51 hectares. É a primeira Unidade de Conservação Estadual. No Parque podemos encontrar a preguiça-de-bentinho, cotiara, iguana e o primata sauím-de-coleira, espécie encontrada somente nas florestas de Manaus e ameaçada de extinção. A biodiversidade de aves é bastante grande, cerca de 89 espécies habita o local. Entre elas há o registro de limpa-folha-do-buriti, taperebá-do-buriti e suiriri-de-garganta-rajada que são próprios de áreas com buritizais. Essa biodiversidade ocorre em função dos diferentes ambientes existente no parque, tais como a ocorrência de buritizais, corpos hídricos e remanescentes de mata primária. Além da espécie da Sumaúma, árvore que dá nome ao parque.

Imagem 2 – Imagem de Satélite e mapa do S2

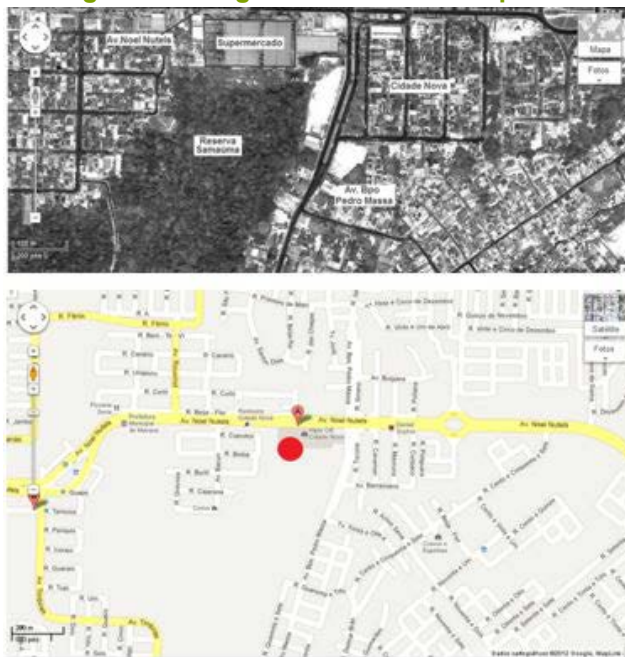


Figura 2 – Emissão de efluente do S2 (1), Parque Sumaúma (2) onde é despejado o efluente.



O Supermercado 3 (S3) (Imagem 3) faz o seu descarte de águas no Igarapé do Quarenta pertencente a bacia hidrográfica do Educando. A nascente do Igarapé do Quarenta está situada na Reserva Sauim Castanheira, que apresenta água corrente de cor marrom e mata ciliar preservada. Nesta área, o igarapé detém médias de temperatura entre 26,0 a 29,3°C (MELO *et al.*, 2006). A Microbacia do Quarenta, que compõe a bacia do Educandos, possui 38 km de extensão, largura média de 6,0 metros e profundidade média de 50,0 cm, seu leito corre de nordeste para sudoeste em relação ao sítio da cidade de Manaus.

Imagem 3 – Imagem de Satélite e mapa do S3.



Figura 3 – Emissão de efluente do S3 (1), Igarapé do Quarenta (2) onde é despejado o efluente.



Materiais utilizados

Os seguintes materiais foram utilizados para realização dos testes em campo e no laboratório:

CLORETO (Cl^-)

- Solução de cloreto 1 e 2

- Cubeta de 10 ml

DUREZA ($CaCO_3$)

- Solução de carbonato de cálcio 1, 2 e 3

- Cubeta de 10 ml

OXIGÊNIO (O_2)

- Solução de oxigênio dissolvido 1, 2 e 3

- Cubeta de 5 ml

AMÔNIA ($N-NH_3$)

- Solução de amônia indotest 1, 2 e 3

- Cubeta de 5 ml

COLORO LIVRE (DPD) (Cl_2)

- Solução de cloro 1 e 2

- Cubeta de 5 ml

FERRO (Fe)

- Solução de tiorfer

- Cubeta de 5 ml

ORTOFOSFATO (PO_4)

- Solução de fosfato 1 e 2

- Cubeta de 5 ml

PH em campo

- 1 pHmetro (Pometer) PH-009(I)

- Água destilada (Halex Istar)

- Solução tampão (Neon) de pH 7,00

- Solução tampão (Neon) de pH 4,00

PH em laboratório

- Solução de indicador de pH

- Cubeta de 5 ml

TURBIDEZ

- Disco de Secchi

- Cubeta de 10 ml

TEMPERATURA em campo

- Termômetro CN externo (álcool líquido vermelho) $-10^{\circ}C$ a $60^{\circ}C$

As coletas das amostras foram feitas no período de 9h e 10h, e reservadas em recipientes de 350ml e conservadas no gelo até duas horas antes das análises no laboratório. Ainda no campo foram realizadas retirada de dados como pH e Temperatura. No laboratório foram feitas as análises e as coletas dos dados, essa análise começaram a ser realizadas às 11h com o término às 12h34min. Todas as análises realizadas foram feitas com o ECOKIT da Alfakit (Imagem 4).

Imagem 4 – ECOKIT, amostras e caderneta de anotações de dados.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com as amostras retiradas e analisadas tiveram-se os resultados conforme tabelas 1 (1a e 1b), 2 (2a e 2b) e 3(3a e 3b)

Resultados do supermercado 1 (S1)

O supermercado 1 (S1), localizado na avenida Autaz Mirim s/n, Mutirão / Jorge Teixeira / Tancredo Neves divisa das zonas leste e norte da cidade, tem seu efluente no Igarapé do Sete, pertencente a micro bacia hidrográfica do Mindú.

Tabela 1a – Resultados da amostragem do Supermercado 1 (S1) - Efluente.

Análise de amostragem	Resultados
	Efluente
Cloreto	50 mg/l de Cl ⁻
Dureza	70 mg/l de CaCO ₃
Oxigênio Dissolvido	8,0 mg/l O ₂
Amônia	3,0 mg/l N-NH ₃
Cloro livre	0 mg/l Cl ₂
Ferro	0,75 mg/l Fe
Ortofosfato	1,5 mg/l PO ₄
pH	6,5
Turbidez	50 N.T.U

Tabela 1b – Resultados da amostragem do Supermercado 1 (S1) - Corpo Hídrico.

Análise de amostragem	Resultados
	Corpo Hídrico
Cloreto	60 mg/l de Cl ⁻
Dureza	60 mg/l de CaCO ₃
Oxigênio Dissolvido	7,0 mg/l O ₂
Amônia	3,0 mg/l N-NH ₃
Cloro livre	1,50 mg/l Cl ₂
Ferro	1,0 mg/l Fe
Ortofosfato	1,75 mg/l PO ₄
pH	7,0
Turbidez	50 N.T.U

Resultados do supermercado 2 (S2)

O supermercado 2 (S2), localizado na avenida Noel Nutels, s/n Cidade Nova zona norte da cidade, tem seu efluente na Reserva Sumaúma.

Tabela 2a – Resultados da amostragem do Supermercado 2 (S2) - Efluente.

Análise de amostragem	Resultados
	Efluente
Cloreto	60 mg/l de Cl ⁻
Dureza	70 mg/l de CaCO ₃
Oxigênio Dissolvido	8,0 mg/l O ₂
Amônia	3,0 mg/l N-NH ₃
Cloro livre	0 mg/l Cl ₂
Ferro	0,10 mg/l Fe
Ortofosfato	0,75 mg/l PO ₄
pH	7,0
Turbidez	100 N.T.U

Resultados do supermercado 3 (S3)

O supermercado 3 (S3), é localizado na avenida Rodrigo Otávio, 3810 - Distrito Industrial zona centro-sul da cidade, tem seu efluente no Igarapé do Quarenta pertencente a bacia hidrográfica do Educando.

Tabela 3a – Resultados da amostragem do Supermercado 3 (S3) - Efluente.

Análise de amostragem	Resultados
	Efluente
Cloreto	70 mg/l de Cl ⁻
Dureza	100 mg/l de CaCO ₃
Oxigênio Dissolvido	5,0 mg/l O ₂
Amônia	3,0 mg/l N-NH ₃
Cloro livre	2,0 mg/l Cl ₂
Ferro	0 mg/l Fe
Ortofosfato	0 mg/l PO ₄
pH	7,0
Turbidez	200 N.T.U

Tabela 3b – Resultados da amostragem do Supermercado 3 (S3) - Corpo Hídrico.

Análise de amostragem	Resultados
	Corpo Hídrico
Cloreto	60 mg/l de Cl ⁻
Dureza	60 mg/l de CaCO ₃
Oxigênio Dissolvido	7,0 mg/l O ₂
Amônia	3,0 mg/l N-NH ₃
Cloro livre	1,50 mg/l Cl ₂
Ferro	1,0 mg/l Fe
Ortofosfato	1,5 mg/l PO ₄
pH	7,0
Turbidez	100 N.T.U

Na comparação com os padrões que são exigidos pelo CONAMA N° 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005 podemos ver algumas diferenças, se considerarmos que as águas dos igarapés são de classe 3, seguiremos os padrões conforme a tabela 4.

Tabela 4 - Padrões exigidos pelo CONAMA, para água doce classe 3.

Substâncias	Nível
Cloreto	250 mg/l de Cl
Dureza	Sem exigência
Oxigênio Dissolvido	Não inferior 4,0 mg/l O ₂
Amônia	Sem exigência
Cloro livre	0,01 mg/l Cl ₂
Ferro	0,3 mg/l Fe
Ortofosfato	Sem exigência
pH	6,0 a 9,0
Turbidez	100 N.T.U
Espuma e material flutuante	Ausente
Óleo e graxa	Ausente
Odor e sabor	Ausente
Resíduos Sólidos	Ausente

Com tudo se considerarmos que as águas dos igarapés são de classe 4, o que quase sempre acontece com os igarapés de Manaus, seguiremos os padrões conforme a tabela 5.

Tabela 5 - Padrões exigidos pelo CONAMA, para água doce classe 4.

Substâncias	Nível
Cloreto	Sem exigência
Dureza	Sem exigência
Oxigênio Dissolvido	Superior 2,0 mg/l O ₂
Amônia	Sem exigência
Cloro livre	Sem exigência
Ferro	Sem exigência
Ortofosfato	Sem exigência
pH	6,0 a 9,0
Turbidez	Sem exigência
Espuma e material flutuante	Ausente
Óleo e graxa	Tolerável iridescências
Odor e sabor	Não objetáveis
Resíduos Sólidos	Ausente

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos através das amostras trazem uma realidade dos efluentes despejados diariamente a toda hora em nossos igarapés e matas, ou seja, com a pouca fiscalização e o difícil acesso a algumas áreas fazem com que esses igarapés fiquem cada dia, mais poluídos. Quando comparados os resultados como o que o CONAMA pede, podemos ver a diferença entre o que a lei exige e o que se faz na realidade.

Entendendo que as águas dos igarapés da cidade de Manaus são quase que inviáveis para classificação 1 e 2, subentende-se que elas estariam na classificação 3 ou 4, assim sendo muitos dos responsáveis pelos supermercados se utiliza dessa regra, para classificar as águas dos igarapés como classe 4, onde a exigência é quase nula. Assim podendo despejar seus efluentes com o menor nível de tratamento possível.

REFERÊNCIAS

ABNT/Associação Brasileira de Normas Técnicas Poluição das águas. Rio de Janeiro, 1973. 22p.

BRASIL. Lei Federal 9433, de 8 de janeiro de 1997, Institui a Política nacional de recursos hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm>. Acesso: 01 de maio de 2013.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução n. 357 de 18 de março de 2005. Dispõe sobre uma nova classificação para as águas doces, bem como para as águas salobras e salinas do território nacional. Disponível em <<http://www.mma.gov/conama>>. Acesso: 25 de abril de 2013.

_____. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução n. 01 de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente. Disponível em <<http://www.mma.gov>>. Acesso: 25 de abril de 2013.

BRINGEL, S. R. B. Estudos do nível de poluição nos igarapés do Quarenta e do Parque Dez de Novembro. Manaus, Universidade de Tecnologia do Amazonas/UTAM, 1986. (Relatório Técnico).

CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução no 20, de 18 de junho de 1986. Brasília, 1986. 92p.

LOPES, Maria José Nascimento *et al.* Avaliação preliminar da qualidade da água de bacias hidrográficas de Manaus utilizando macroinvertebrados como bioindicadores. SaBios-Revista de Saúde e Biologia, v. 3, n. 2, 2008.

OLIVEIRA, ERCIVAN G. DE, REBELLO, ADORÉA. Planejamento Ambiental em bacias hidrográficas: um estudo preliminar de indicadores socioambientais na microbacia do quarenta. Manaus, Universidade de Federal do Amazonas/UFAM, 2008. (Artigo Técnico - Científico).

RICKLEFS, R. E. A economia da natureza, 5ª edição. RJ, Editora Guanabara Koogan. 2003.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Afonso Cláudio Batista de Freitas e Maria Gonzaga da Silva, pelo apoio para que eu pudesse chegar até aqui; Aos meus professores, mestres e doutores, Emanuel Lima, Mario Piere, Alessandra Nishikawa, Ricardo Moura, Janaína de Almeida, Rodrigo, Renata Schmith e Fabiane Ferreira de Almeida pela paciência, compreensão e dedicação na transmissão de conhecimento; Ao meu amigo Miguel Souza, por me incentivar a fazer essa especialização; E ao mais importante de todos a Deus, por me dar paciência, compreensão, inteligência e forças para a conclusão desta especialização.



Desenvolvimento de software para rastreamento entregas e coletas de insumos

Juarez Figueredo de Oliveira

Acadêmico de Engenharia de produção da Faculdade ISEPE/RONDON

Nestor Elias Lange

Professor Orientador da Faculdade ISEPE/RONDON.

DOI: 10.47573/ayd.5379.2.190.11

RESUMO

Este estudo visa avaliar o desenvolvimento de um software de roteirização no auxílio ao motorista, visando otimizar as entregas e impactar positivamente as operações logísticas e estratégicas da empresa. O estudo adotou uma pesquisa bibliográfica para embasar o trabalho, abordando temas como custos logísticos e desenvolvimento de softwares na Engenharia de Produção, com o objetivo de aprofundar o conhecimento nessas áreas. Observando a fundamentação teórica, ficou claro que o software a ser desenvolvido como um sistema de otimização funciona na prática pois, como o próprio nome sugere, a otimização prioriza a redução de custos e o aumento da produtividade, executa uma série de tarefas como organizar a coleta e/ou entrega aumentando assim a produtividade. A tecnologia está revolucionando as entregas empresariais. Softwares automatizados permitem um planejamento mais ágil e seguro, conferindo autonomia às empresas na otimização do processo de entrega.

Palavras-chave: desenvolvimento software. roteirização. sistemas de informação. logística.

INTRODUÇÃO

Hoje, as empresas dependem cada vez mais de tecnologias assistidas por computador para atingir seus objetivos. Em geral, grandes empresas buscam adotar modelos de negócios para melhorar o uso dos recursos de informação e alinhá-los com a orientação de negócios (WEILL; ROSS, 2005).

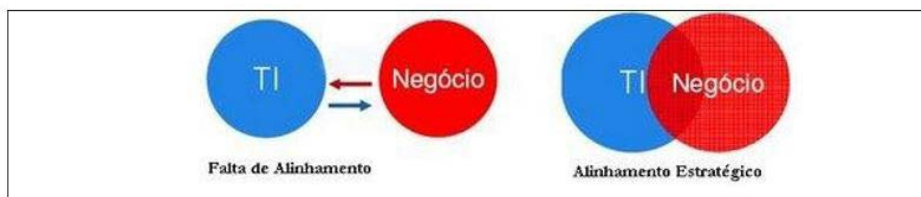
O mercado moderno exige das organizações preços competitivos, o que significa baixo custo sob controle, além de alta qualidade. Esses pré-requisitos tornam a tecnologia da informação (TI) um parceiro estratégico para as empresas que desejam estar entre os ganhadores em seu nicho de mercado (FOINA, 2001).

Ao longo dos anos, o conhecido responsável informático pela gestão de dados e produção de informação tem figurado uma mais valia, aumentando a capacitância ao poder de comunicação. Por isso, também passou a ser conhecida como Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC). Esta nova nomenclatura é um conjunto de recursos tecnológicos que, integrados entre si, podem assegurar a automação e/ou comunicação de vários tipos de processos existentes nas áreas empresarial, educacional e científica, bancária e financeira etc. (MENDES, 2009)

O objetivo de negócios deve estar totalmente alinhado com esses novos atributos de TI. Isso maximiza o uso dos recursos de computação, resultando em maior produtividade e crescimento dos negócios.

A Figura 1 aborda como a TI e os objetivos do negócio precisam estar alinhados para conseguir uma maior sinergia em seus processos.

Figura 1 - Alinhamento da TI com o Negócio.



Fonte: Beal (2009).

O domínio de TI influencia o contexto de negócios e vice-versa. Se os esforços da área não contiverem um objetivo comum, a interoperabilidade entre os processos ficará comprometida. Para evitar o desalinhamento estratégico, é necessário adotar uma abordagem que maximize a eficiência e eficácia de TI Corporativa o que leva ao aumento da produtividade (MAGALHÃES E ABETO, 2007).

Sistemas da Informação

O gerenciamento da informação é um fator de sobrevivência da empresa no mercado no qual atua. Wetherbe (1997, p. 8) acredita que o fato de “para as organizações aceitarem que a informação possui um valor da mesma forma que outros recursos tangíveis é, ainda, um assunto polêmico”. De fato, outros elementos podem ser medidos em valores econômicos, enquanto a informação ainda não pode ser medida dessa forma. A informação em um contexto de negócios tem duas finalidades: para conhecimento dos ambientes interno e externo de uma organização e para atuação nestes ambientes.

Bio (1999, p. 10) define o termo informação como: “estruturas significantes com a competência de gerar conhecimento no indivíduo, em seu grupo, ou a sociedade.” Assim, um sistema de informação é um tipo especializado de sistema que possui uma série de elementos ou componentes inter-relacionados que coletam (entrada), manipulam e armazenam (processo), disseminam (saída) os dados e informações e fornecem um mecanismo de feedback. (CORREIA, 1999).

Já para Oliveira (1996) ensina que a Teoria Geral dos Sistemas define sistema como “um conjunto de elementos ou componentes interdependentes, que interagem para se atingir determinado objetivo comum, formando um todo unitário e complexo.” Os elementos do sistema são agrupados em três classes genéricas: de elementos de controle que compreendem os objetivos, os planos e os padrões; de transformação que é a operação de processamento de dados e decisão operativa; e, os de informação que compreendem as entradas, os mecanismos de processamento, saídas e feedback.

Bio (1999, p. 10) define o termo informação como: “estruturas significantes com a competência de gerar conhecimento no indivíduo, em seu grupo, ou a sociedade.” Assim, um sistema de informação é um tipo especializado de sistema que possui uma série de elementos ou componentes inter-relacionados que coletam (entrada), manipulam e armazenam (processo), disseminam (saída) os dados e informações e fornecem um mecanismo de feedback. (CORREIA, 1999).

Segundo Oliveira (1996) ensina que a Teoria Geral dos Sistemas define sistema como “um conjunto de elementos ou componentes interdependentes, que interagem para se atingir determinado objetivo comum, formando um todo unitário e complexo.” Os elementos do sistema

são agrupados em três classes genéricas: de elementos de controle que compreendem os objetivos, os planos e os padrões; de transformação que é a operação de processamento de dados e decisão operativa; e, os de informação que compreendem as entradas, os mecanismos de processamento, saídas e feedback.

Um sistema é formado por partes menores, igualmente distinguíveis uma das outras que interagem entre si. Um sistema existe e alcança os seus objetivos pela forma como está armada a teia de relações internas entre as suas partes ou subsistemas (Oliveira, 1996). Aplicando-se a definição de sistema, pode-se afirmar que Sistema de Informação como um conjunto de elementos inter-relacionados, processos, dados e tecnologia, cuja finalidade é alimentar os centros de decisões, com as informações de ação que permitam a consecução dos objetivos da organização.

Os Sistemas de Informação podem ser manuais ou computadorizados, em alguns casos os sistemas iniciam-se de forma manual, sendo os seus processos automatizados e informatizados gradativamente. (MAGALHÃES, 2000). A definição mais abrangente de Sistema de informação foi elaborada por Bio (1995) que afirma que sistema de informação é:

Um conjunto de componentes inter-relacionados trabalhando juntos para coletar, recuperar, processar, armazenar e distribuir informação com a finalidade de facilitar o planejamento, o controle, a coordenação, a análise e o processo decisório em empresas e outras organizações.

Produto da realidade tecnológica, os sistemas de informação contêm informação sobre pessoas, lugares e coisas de interesse, nos ambientes interno e externo de uma organização, auxiliando os funcionários ou gerentes na tomada de decisões, na análise e visualização de soluções no ambiente organizacional. E para fazer tal trabalho, o sistema de informação tem três atividades básicas que são a entrada, o processamento e a saída dos dados, que são ali transformados em informação útil para a empresa se posicionar (BIO, 1995).

Segundo Laudon e Laudon (1999, p. 4), os sistemas de informação fazem o trabalho de tratamento e gerenciamento dos dados por meio de um ciclo de três atividades básicas: entrada, processamento e saída, que assim são descritas:

- a) A entrada (*ou input*) envolve a captação ou coleta de fontes de dados brutos de dentro da organização ou de seu ambiente externo. O processamento envolve a conversão dessa entrada bruta em uma forma mais útil e apropriada.
- b) A saída (*ou output*) envolve a transferência da informação processada às pessoas ou atividades que a usarão. Os sistemas de informação também armazenam informação sob várias formas, até que ela seja necessária para o processamento ou a saída.
- c) A realimentação (*ou feedback*) é a saída que retoma aos membros adequados da organização para ajudá-los a refinar ou corrigir os dados de entrada.

Objetivos

O presente estudo tem como objetivos analisar a viabilidade de um software de roteirização e demonstrar a eficiência destes programas no auxílio ao motorista, onde o desafio será cumprir o maior número de entregas em pontos específicos, se o uso desse software pode gerar resultados substanciais nas operações logísticas e nas informações estratégicas para a empresa.

Para fundamentar o presente artigo foram abordados a temática que estão intrinsecamente relacionados com o estudo, tais como: Desenvolvimento Software, Roteirização, Sistemas de Informação, Logística.

Questão de Pesquisa

Diante da relevância do tema em relação a controle de rastreamento de caminhões na atividade de entregas de insumos em diversas granjas na microrregião de Santa Helena-PR, surge o problema da pesquisa:

O desenvolvimento de um software de rastreamento é irá atender a demanda das necessidades que a empresa XX necessita?

DESENVOLVIMENTO

Medição, Análise e Requisitos Projeto Software

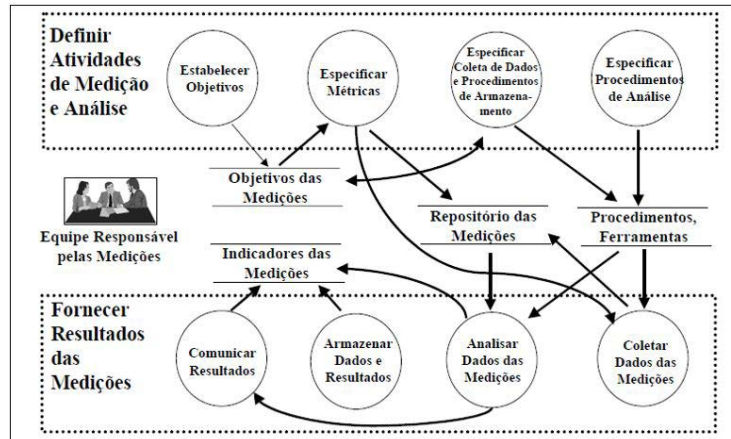
Existem muitas abordagens para a medição de software hoje: vários padrões internacionais foram publicados e há muita literatura relacionada à medição e métricas de software. No entanto, há também uma nova comunidade que treina e comunica uma combinação de medição de software e melhoria de processos - - comunidade esta que trabalhou de maneira colaborativa com colegas do *Practical Software and Systems Measure Support Center* no desenvolvimento da área de processo de Medição e Análise do *Capability Maturity Model Integration* - CMMI e no desenvolvimento do padrão ISO relacionado à medição de software e à avaliação de processos.

A área de processo de Medição e Análise foi um importante adendo ao CMMI. Seu escopo é bem mais abrangente e explícito que o tratamento dispensado à questão de medição no *Capability Maturity Model for Software* (SW-CMM). O modelo CMMI-SW possui vinte e quatro áreas de processos que encontram se agrupadas em quatro categorias: gerência do processo, gerência do projeto, engenharia e suporte.

O propósito da área de processo de Medição e Análise, pertencente à categoria de suporte do CMMI, é desenvolver e manter a capacidade de medição que será utilizada para apoiar as necessidades de informações gerenciais da Organização. Esta área de processo provê um guia essencial a ser seguido sempre que houver necessidade de medição, sendo que suas práticas são sempre executadas dentro do contexto de execução de outros processos. Se considerado o CMMI em estágios, esta é uma área de processos de nível.

O campo do processo de metrologia e análise tem dois intentos. (I) alinhar as atividades relacionadas à metrologia com as necessidades de informação da organização e (II) fornecer os resultados das medições para atender a essas necessidades de informação. Para atingir o objetivo inicial, a equipe de metrologia define as metas de metrologia da organização e define métricas e procedimentos para coleta, armazenamento e análise de dados. Para atingir o segundo objetivo, os dados e resultados de metrologia devem ser coletados, armazenados, analisados e comunicados às partes interessadas. A Figura 2 apresenta a área de processo de Medição e Análise

Figura 2 - Área de Processo de Medição e Análise.



Fonte: CMMI

As práticas específicas associadas ao objetivo (I) – “alinhar as atividades relacionadas à medição às necessidades informacionais da Organização” - estabelecem um plano coerente para a medição e análise (Plano de Medição da Organização), endereçando questões tais como “o que estamos medindo? ”, “porque estamos medindo? ”, “como vamos medir? ” E “o que vai ser feito com os dados e resultados, uma vez que os tenhamos? ”. Já as práticas específicas associadas ao objetivo (II) – “fornecer os resultados das medições de forma a satisfazer a estas necessidades de informação” - apenas direcionam o usuário para fazer o que tem que ser feito.

O objetivo maior, resumindo, é “colocar os resultados das medições e análises nas mãos daqueles que vão tomar decisões e ações com base nestes dados. O que esta área de processo do CMMI enfatiza é a necessidade de que os resultados obtidos sejam adequadamente comunicados aqueles que realmente precisam da informação”.

Por meio de uma abordagem que fornece os resultados da mensuração dos objetivos, essa área de processo facilita a execução das ações corretivas cabíveis, uma vez que a tomada de decisão é baseada em informações reais e históricas da própria Organização.

O objetivo do processo de medição e análise é desenvolver e aplicar a capacidade de avaliar métricas (métricas) que servirão como importante fonte de informação para a gestão organizacional. É importante lembrar que os benefícios de fazer mensurações vêm das decisões e ações resultantes da análise de dados, não apenas da coleta de dados.

Requisitos comuns

Independentemente do tipo específico, Ambientes de Desenvolvimento de Software Orientados a Organização devem satisfazer os seguintes requisitos (Villela, 2001): (I) armazenar e fornecer para as equipes de projeto um modelo da organização, contemplando estrutura, processos e capital intelectual, (II) armazenar conhecimento especializado sobre o desenvolvimento e a manutenção de software na organização e fornecer este conhecimento para as equipes de projeto quando necessário, além de (III) apoiar a contínua evolução do conhecimento armazenado no ambiente.

A disponibilidade de um modelo da organização (requisito (i)) agiliza a localização de especialistas que podem trazer contribuições para o projeto e serve de base para levantamentos

de requisitos relacionados aos processos organizacionais. A localização de especialistas é muito importante quando o conhecimento necessário não está disponível no Ambientes de Desenvolvimento de Software Orientados a Organização ou quando, apesar de disponível, a sua aplicação requer entendimento mais profundo.

Para atender ao requisito (II), um Ambientes de Desenvolvimento de Software Orientados a Organização precisa conter o conhecimento sobre o processo de software padrão da organização (EMAM, 1998) e sobre a experiência de desenvolvimento e manutenção de software adquirida pela organização, o que pode envolver normas e diretrizes, melhores práticas com exemplos de projetos que as utilizaram, produtos intermediários, roteiros de documentos, relatos de lições aprendidas em projetos anteriores, entre outros. Sempre que pertinente, cada item de conhecimento armazenado no ambiente deve ser acompanhado da identificação de especialistas internos e materiais de referência.

Conhecimento adquirido pela organização sobre desenvolvimento e manutenção de software é fundamental para as atividades de elaboração da Proposta de Fornecimento e do Plano do Projeto, pois transforma estas atividades, que são centradas no conhecimento e na experiência do gerente do projeto, em atividades centradas no conhecimento e na experiência da organização. Atividades de análise, projeto, implementação, teste e implantação podem ser apoiadas por notícias relativas às tecnologias utilizadas, melhores práticas em relação aos métodos selecionados, reutilização de produtos intermediários, entre outros.

Uma questão importante é o fato de o conhecimento de uma organização estar em constante evolução. Experiências relevantes para o desenvolvimento ou manutenção de software podem ser adquiridas a cada projeto. Além disso, o modelo da organização também sofre alterações ao longo do tempo.

O conhecimento da organização do cliente e sua área de negócio é fundamental nas atividades iniciais de um projeto de software, pois essas atividades também exigem uma visão global da organização do cliente e experiência em desenvolvimento de software em sua área de negócio. Durante o projeto o conhecimento do domínio é muito útil. Nas atividades de análise e projeto, por exemplo, serve como ponto de partida para a coleta de requisitos e para a modelagem dos dados do sistema (OLIVEIRA, 1999). O conhecimento da organização do cliente também pode ser útil durante o projeto pois o conhecimento do domínio não elimina a interação com a organização do cliente e o objetivo do projeto é dar suporte, controlar ou automatizar um ou mais processos da organização do cliente.

A Logística

Segundo Christopher (1997), o termo logístico é definido como um processo que gerencia de modo estratégico a aquisição, movimentação e armazenagem de materiais, peças e produtos acabados por meio da organização e do marketing, de maneira capaz maximizar a lucratividade presente e futura através do atendimento dos pedidos a baixo custo.

A logística de entrega de pintainhos e insumos para produtores rurais é um desempenho fundamental na operação avícola. Essa ação envolve bastantes desafios, como a obrigação de realizar a entrega dos pintainhos dentro do prazo estipulado, a otimização da rota para diminuir esse tempo e o custo do transporte, a garantia de que a entrega seja efetuada no local correto

também que a fiscalização da entrega seja observada em tempo real desde o momento em que a carga sai da empresa e chega até o produtor.

Para encarar esses obstáculos, empresas estão cada dia correndo atrás de conhecimento em tecnologias para melhorar e otimizar esses processos de entrega.

Já de acordo Novaes (2001, p.36), logística é processo que necessita de planejamento, implementação e controle, para se tornar eficiente e atender às exigências dos seus clientes:

Logística é o processo de planejar, implementar e controlar de maneira eficiente o fluxo e a armazenagem de produtos, bem como os serviços e informações associados, cobrindo desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com objetivo de atender aos requisitos do consumidor. (NOVAES, 2001, p.36),

Conforme Faria (2005), o objetivo da logística é fornecer ao cliente o nível de serviço que ele precisa e entregar o “produto certo, no lugar certo, na hora certa, nas condições certos e com o custo certo”.

De acordo com Moura (2004), o trabalho da logística é disponibilizar produtos e serviços onde e quando os clientes precisam. O desafio logístico enfrentado é encontrar a melhor maneira de preencher a lacuna entre produção e demanda.

Os custos logísticos

De acordo com Faria (2005), Custos Logísticos são os custos referentes ao planejamento, implementação além do controle de todo o processo de inventário, que se inicia desde as entradas (input), passa pelos processos, até chegar ao final com as saídas (output).

Christopher (2010), define alguns princípios básicos de custeio logístico. O primeiro princípio é que um sistema que reflita o fluxo de material, ou seja, o sistema reconhece o custo de atender o cliente. O segundo princípio refere-se ao fato de o sistema poder permitir diagnósticos de custos e receitas separados por tipo de cliente, segmento de mercado ou canal de distribuição. O último pré-requisito diz respeito aos perigos do uso de médias, como custos médios de remessa. Isso ocorre porque ele pode ocultar grandes mudanças em ambos os lados da média.

Segundo o mesmo autor, para operacionalizar tais princípios, é necessário que exista uma orientação de “resultado” para o custeio, isto é, deve-se realizar a definição dos resultados que serão almejados pelo sistema logístico, e após isso, procurar identificar os custos associados ao alcance de tais resultados.

Tipos de transporte e seus custos

Para Novaes (2001), o desenvolvimento de um sistema de transporte requer uma visão sistêmica para realizar o planejamento, mas para isso é fundamental conhecer os fluxos das mais diferentes conexões da rede as correntes e o nível de serviço esperado, as propriedades ou parâmetros existentes na carga os tipos de equipamentos disponíveis e suas características, bem como os princípios relacionados com a aplicação da abordagem de sistemas.

Conforme Ballou (1999), dependendo das características do serviço será necessário escolher um modal de transporte, onde possa ser utilizado como meio para desenvolver vantagens competitivas em serviços. Assim, Ballou (1999) destaca algumas das características determinan-

tes dos jeitos de transporte, a saber:

Dutoviário: é utilizado para transporte de líquidos e gases em grandes volumes e materiais que tem capacidade de permanecerem suspensos (petróleo bruto e derivados, minérios). Esta movimentação é bastante lenta, porém é recompensada por trabalhar 24 horas por dia e os sete dias da semana. Apresenta custo fixo mais elevado, por causa dos direitos de acesso, construções, a forma de controle das estações e da capacidade de bombeamento dos materiais, porém o seu custo variável é baixo, pois não possui custos com mão de obra importante. É considerado o segundo modal mais barato.

Aeroviário: é utilizado principalmente nos transportes de cargas de alto valor unitário (artigos eletrônicos, relógios, alta moda) e perecíveis (flores, frutas nobres, medicamentos). Possui fretes mais caros que os do modal rodoviário, porém seu deslocamento é bem mais rápido, tornando este modal mais indicado para longas distâncias. Com relação aos custos este modal é o que tem custo mais elevado em relação aos outros, onde, o seu custo fixo é alto (aeronaves, manuseio e sistemas de carga), bem como seu custo variável, pois, apresenta alto custo de combustível, mão de obra, manutenção etc. Como exemplo dos custos tem-se: mão de obra, seguro da aeronave, depreciação do equipamento, movimentação de carga, frete aéreo, combustível;

Rodoviário: é utilizado no deslocamento de produtos acabados e semiacabados em pequenas distâncias, além de possuir preços de frete bastante elevados. Com relação aos gastos, possui custos fixos baixos (rodovias estabelecidas e construídas com fundos públicos), porém seu custo variável (combustível, manutenção etc.) é médio. Como exemplo dos custos, tem-se: salário do motorista, seguro do veículo, IPVA, depreciação do equipamento, pedágios, óleos lubrificante e combustível;

Hidroviário: são utilizados para o transporte de granéis líquidos, produtos químicos, areia, carvão, cereais, além de alto valor em contêineres. Já em relação aos custos, este modal apresenta custo fixo médio (navios e equipamentos) e custo variável baixo (capacidade para transportar grande quantidade de tonelagem). É o modal que possui os custos mais baixos. Como exemplo dos custos tem-se: salário da tripulação, seguro da embarcação, depreciação do equipamento, manuseio de carga, taxa portuária, óleos lubrificante e combustível;

Ferrovário: é utilizado no deslocamento de amplas toneladas de produtos homogêneos, para percorrer longas distâncias. Os custos relacionados a este tipo de modal diz respeito ao cálculo da multiplicação da tarifa ferroviária pela densidade (do produto), ele apresenta altos custos fixos em equipamentos, terminais e vias férreas entre outros. Porém, seu custo variável é baixo.

Roteirização

Segundo Ballou (2001), quando uma empresa possui frota própria, ela pode encontrar diversos problemas relacionados ao despacho do veículo que sai da base central por uma série de paradas intermediárias, sendo que após essas viagens o veículo retorna ao mesmo. a base central. Ainda segundo Ballou (2001), esses problemas de programação implicam em certos fatores de sucesso, quais sejam: a determinação do número de veículos que serão classificados no processo suas capacitâncias, os pontos de parada para realizar a coleta de produtos ou a entrega.

Este processo consiste em encontrar um meio de rastrear os caminhões quando saem

da propriedade da Empresa XX (incubatório) e vão até o produtor. Geralmente um caminhão leva para dois ou três produtores em uma única viagem, e todo o cálculo de rotas e horário é feito manualmente, quase todo dia temos problema com atrasos e isso gera quase um ciclo.

Quando o motorista atrasa no incubatório eles entram em contato com o PCP para que o pessoal avise os produtores daquele carregamento que vai haver um atraso e assim o pessoal do PCP tem que fazer, e muitas vezes quando o motorista já está em uma propriedade e vai atrasar ele também liga para o pessoal da logística avisar o pessoal do PCP que avise os próximos produtores e assim tem que ser feito. Em conversa com o pessoal a gente concordou em trabalhar junto para melhorar esse processo da empresa.

Ballou (2001) comenta que quando a rota inclui várias paradas e veículos, o número de rotas possíveis é proibitivo. Assim, o autor citado acima explica como gerar bons scripts a partir da aplicação de determinadas regras. São elas:

- 1- Dê início ao agrupamento pelo ponto (parada) mais afastada do depósito;
- 2- Localize o ponto seguinte, usando o ponto disponível que esteja mais perto do centroide dos pontos no grupo. Acrescente esse ponto ao grupo (veículo), caso não tenha ultrapassado a capacidade do veículo;
- 3- Repita o passo 2 até que o veículo complete sua capacidade;
- 4- Realize a sequência das paradas de maneira a ter a forma de uma gota d'água.
- 5- Descubra o próximo ponto, que é a parada mais afastada do depósito ainda disponível, e repita os passos 2 e 4;
- 6- Prossiga até que todos os pontos tenham sido designados.

Para Novaes (2001) os problemas de roteirização podem ser classificados em três categorias básicas:

a) Problemas de Roteirização de veículos: ocorre quando não há restrições de tempo do cliente ou relacionamentos prioritários com o cliente. Neste tipo de problema serão considerados apenas os aspectos espaciais. Seu objetivo é estabelecer um conjunto de rotas viáveis e de baixo custo;

b) Problemas de agendamento de veículos: ocorre quando a definição de rotas leva em consideração um cronograma predeterminado de atividades a serem achadas. Para esse tipo de problema, a elaboração do guião leva em consideração os aspectos espaciais e temporais do problema

c) Problemas Combinados de Roteirização e Programação de Veículos: ocorre quando certos tipos de prioridades e/ou prazos são limitados. E esses prazos são restrições de tempo relacionadas à duração esperada para um determinado serviço. para trabalhar no cliente. O trabalho total leva em conta tanto o espaço quanto o tempo que os problemas práticos se enquadram nessa categoria.

Caracterização do Problema

O trabalho consiste em encontrar um meio de rastrear os caminhões quando saem da propriedade da Empresa XX (incubatório) e vão até o produtor. Geralmente um caminhão leva

para dois ou três produtores em uma única viagem, e todo o cálculo de rotas e horário é feito manualmente, quase todo dia temos problema com atrasos e isso gera quase um ciclo.

Quando o motorista atrasa no incubatório eles entram em contato com o PCP para que o pessoal avise os produtores daquele carregamento que vai haver um atraso e assim o pessoal do PCP tem que fazer, e muitas vezes quando o motorista já está em uma propriedade e vai atrasar ele também liga para o pessoal da logística avisar o pessoal do PCP que avise os próximos produtores e assim tem que ser feito. Em conversa com o pessoal a gente concordou em trabalhar junto para melhorar esse processo da empresa.

A criação desse sistema que ele calcule a melhor rota possível para o motorista, podendo assim a empresa acompanhar tudo de perto e com apenas uma tela. Esse sistema também deverá contar com uma ferramenta que se o motorista atrasar 30 minutos ele deverá enviar uma mensagem automática para o próximo aviário cadastrado que houve esse atraso e assim enviar uma próxima previsão de horário.

O pensamento do sistema que ele esteja em um tablet dentro do caminhão com todas as informações de rota para o motorista. E de rastreamento para a empresa, assim que ele ajude a empresa encontrar os caminhões com mais facilidade, que em uma única tela a empresa tenha acesso a cada caminhão que esteja na estrada ou que esteja parado na propriedade do produtor.

Para começar quando o motorista de manhã chegue na empresa ele entra no caminhão e liga o tablet entrando no aplicativo ou sistema, para ter acesso ele deverá colocar a matrícula e senha. Quando abre a tela que ela seja como que no google maps porém com o campo para ele cadastrar os aviários que ele fará a entrega.

Deverá aparecer três ou mais caixinhas para que ele coloque o número do aviário, feito isso ele dá um (OK FINALIZAR CADASTRO) e esse sistema calcule a rota de onde o caminhão está (INCUBATÓRIO) até a propriedade do último aviário cadastrado, passando por cada um e escolhendo sempre as estradas principais.

Feito isso, o sistema deixa uma essa informação em aberto toda vez que o caminhão estiver em rota. Quando o motorista chegar na propriedade ele entra no sistema e dá um (OK) isso vai mandar a informação para a empresa que o motorista já chegou na propriedade.

O prazo para descarregar um caminhão varia entre 30 e 45 minutos, se caso houver o atraso de 30 minutos, por exemplo o caminhão ficar parado 1:10 horas o sistema vai enviar uma mensagem para o próximo produtor que vai atrasar o alojamento dele nesse tempo de aproximadamente 30 minutos.

Feito tudo nessa propriedade é hora de ir para o próximo ou de voltar para a empresa, o motorista entra no caminhão e dá outro (OK) para informar que está saindo dessa propriedade, o sistema vai mandar novamente a informação para a empresa que o caminhão está em rota.

Sendo assim até fazer toda a entrega, quando o motorista for sair da propriedade do último produtor, ele dá o (OK) e o sistema gera o caminho de volta para ele sem precisar fazer a rota anterior, o sistema capta o ponto de partida que o caminhão está e gera a rota no tablet, e a mensagem vai novamente para a empresa que o caminhão está em movimento até chegar ao destino principal (INCUBATÓRIO).

Esse (OK) que o motorista vai clicar poderia ser toda vez que parar e sair poderia ser substituído por (CHEGADA) e (SAIDA). Assim a empresa teria acesso total em tempo real o tempo todo de onde esse caminhão está.

Interfaces sugeridas para o desenvolvimento

A interface é o sistema”. A frase de Larry Tesler, cientista-chefe da Apple define bem a importância da experiência de uso que o sistema proporciona a seu usuário. A interface é a única maneira que o usuário tem de avaliar o sistema. A ele não interessa a linguagem de programação na qual o sistema foi desenvolvido, o tipo de equipamento no qual a aplicação foi desenvolvida, nem a metodologia empregada na sua concepção e desenvolvimento. O conceito vai além da estética da tela (disposição de menus, cores etc.). Ele se estende a questões como correteza, tempo de resposta, grau de dificuldade de uso, rapidez no desempenho de tarefas-chave, nível de erros cometidos por usuários durante o uso, facilidade de aprendizado, fadiga produzida pelo uso prolongado, acomodação de usuários com necessidades especiais, dentre outros.

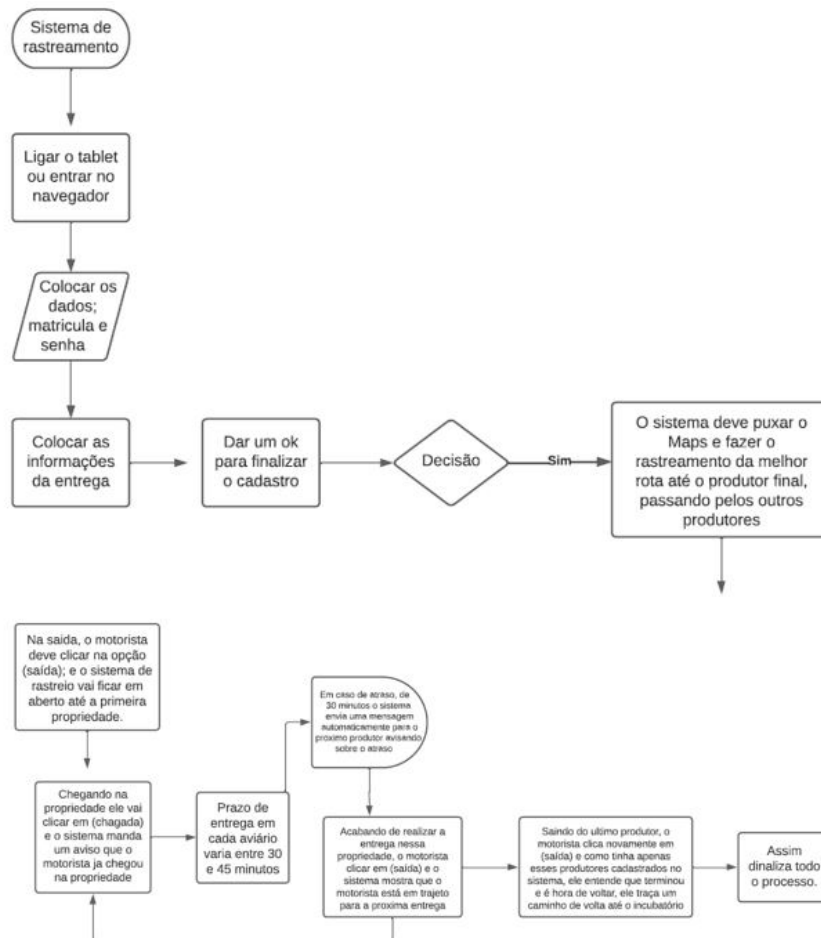
Para desenvolver sistemas com tais características é necessário entender não somente como o computador funciona, mas também como o ser humano “funciona”. Assim, cientistas da computação se juntaram a psicólogos dando início as atividades de pesquisa na área de interação humano computador.

Antes de tudo é fundamental descobrirmos as funcionalidades e em que circunstâncias elas são executadas. Essas funcionalidades normalmente remetem a tarefas que fazem parte das atribuições dos cargos que os usuários ocupam, por exemplo. A análise de tarefas é uma das principais atividades do projetista de sistemas interativos.

O usuário precisa confiar no sistema. Sistema no qual o usuário não confia está fadado ao fracasso. A confiança do usuário no sistema é frágil, uma falha sequer e a confiança fica comprometida por muito tempo. Comandos devem funcionar como especificados e conforme descritos nos manuais do usuário. Os dados e valores exibidos em telas e relatórios devem corresponder à realidade, àquilo que está armazenado no banco de dados.

A presente interface foi desenvolvida pelos autores para demonstrar de forma simples e de forma didática para poder se ter uma ideia de operacionalização do futuro sistema a ser desenvolvido.

Na Figura 3 apresenta uma sequência lógica do software a ser desenvolvido.



Fonte: Autores

Metodologia

O processo metodológico deste estudo foi inicialmente realizado através de uma pesquisa bibliográfica que segundo Gil (2002), tal pesquisa é baseada em um estudo aprofundado, que visa permitir o detalhamento do conhecimento, ocorre através de materiais elaborados, como livros e artigos, utilizados para embasar o trabalho. A fim, de abordar alguns temas relacionados à Engenharia de Produção referente à logística, incluindo conceitos como de custos logísticos os conceitos de desenvolvimento de softwares, o problema consiste em rastrear caminhões que desenvolvem a entrega de insumos em propriedades produtoras de proteína animal a roteirização, tendo como objetivo desenvolver o software, para servir como ferramenta de apoio a tomada de decisão da melhor rota a ser realizada pela empresa em estudo.

Esta pesquisa foi realizada forma quantitativa e qualitativa através da coleta de dados de quais cidades e as distancias que deveram ser percorridas, por meio de visitas in loco e entrevistas realizadas com o gerente e funcionários. Sendo a pesquisa dividida em três etapas coerentes com sua execução, que foram: estudo bibliográfico, coleta de dados, estruturação e tratamento de dados e informações através de visitas realizadas numa empresa XX (incubatório) de situada na cidade de Santa Helena - PR. Com o intuito de otimizar a rota da entrega dos produtos, possibilitando uma redução nos custos e uma rápida entrega.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observando a fundamentação teórica, ficou claro que o software a ser desenvolvido como um sistema de otimização funciona na prática pois, como o próprio nome sugere, a otimização prioriza a redução de custos e o aumento da produtividade, executa uma série de tarefas como organizar a coleta e/ou entrega aumentando assim produtividade.

Não foram consideradas as variáveis como vias bloqueadas para o trânsito de caminhões, restrições em relação ao horário de entregas.

As variações externas como o preço do diesel no dia (aclives e declives), condições dos trechos percorridos, condições do trânsito também influenciam na análise final, pois irá acarretar o custo total, essas variáveis não podem ser previstas pelos softwares. Não considerou adequação dos horários de atendimento ao cliente (almoço, limite de atendimento, ordem de chegada).

A tecnologia que está mudando a percepção das empresas em relação ao arranjo de suas entregas e os softwares podem tornar-se uma ferramenta agregadora no quesito contribuição na otimização do processo em que permitirá autonomia em relação a elaboração dos seus planejamentos de entrega mais rápida e segura de forma automatizada.

Sugestões Futuras

Para que tudo isso seja realizado de maneira efetiva é necessário investimento por parte dos desenvolvedores com ajustes adequados os softwares e assim poder ganhar mais visibilidade no mercado desta forma os *startups* seria beneficiada financeiramente a medida em que há o *feedback* (retorno) da funcionalidade dos softwares no seu desenvolvimento e maturidade.

REFERÊNCIAS

AHERN, D.M.; CLOUSE, A; TURNER, R., CMMI Distilled, Addison Wesley. 2001.

BALLOU, R. H. Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos -: Logística Empresarial. Bookman. Editora, 2009.

BALLOU, R. H. Programas de computador selecionados para planejamento logístico, 1999.

BARREIRA, Nuno Manuel do Couto. Sistema Inteligente para Otimização de Rotas. 2016. Disponível em: <https://run.unl.pt/handle/10362/20245>. Acesso em: 05 maio 2023.

BEAL, Adriana. Adquirindo Maturidade na Gestão de TI. São Paulo: Atlas, 2009.

BIO, Sérgio Rodrigues. Sistemas de informação: um enfoque gerencial. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1995.

CHRISTOPHER, Martin. Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: estratégias para a redução de custos e melhoria dos serviços. São Paulo: Pioneira, 1997.

CORRÊA, H.L.; GIANESI, I.G.N.; CAON, M. (1997). Planejamento, programação e controle da produção: MRP II / ERP: conceitos, uso e implantação. São Paulo: Atlas, 1999.

EMAM, K. E., DROUIN, J., MELO W., SPICE – A teoria e a prática de melhoria de processo de software e determinação de capacidade, Computer Society Press, 1998.

FARIA, Ana Cristina de. Gestão de custos logísticos / Ana Cristina de Faria, Maria de Fatima Gameiro da Costa. – São Paulo: Atlas, 2005.

FOINA, Paulo Rogério. Tecnologia de Informação. São Paulo: Atlas, 2001

GIL, Antonio Carlos. Como Elaborar Projetos de Pesquisa. 4ª edição. São Paulo: Atlas, 2002.

LAUDON, Keneth C; LAUDON, Jane Price. Sistemas de informação. 4. ed. Rio de Janeiro. 1999.

MAGALHÃES, Ivan Luizio; PINHEIRO, Walfrido Brito. Gerenciamento de Serviços de TI na Prática: Uma abordagem com base na ITIL. São Paulo: Novatec, 2007.

MAGALHÃES, Ivan Luizio; PINHEIRO, Walfrido Brito. Gerenciamento de Serviços de TI na Prática: Uma abordagem com base na ITIL. São Paulo: Novatec, 2007.

MOURA, R. A. *et al.* Atualidade na logística. São Paulo: IMAM, 2004.

NOVAES, Antônio Galvão. Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição: estratégia, operação e avaliação. Rio de Janeiro: Campus, 2001.

OLIVEIRA, K., Modelo para Construção de Ambientes de Desenvolvimento de Software Orientados a Domínio, Tese de D. Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 1999.

OLIVEIRA, K., Modelo para Construção de Ambientes de Desenvolvimento de Software Orientados a Domínio, Tese de D. Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 1999.

VILLELA, K., ZLOT, F., SANTOS, G, Gestão do Conhecimento em Desenvolvimento de Software Ambientes., 2001.

WEILL, Peter; ROSS, Jeanne W.. Governança de TI: Tecnologia da Informação. Nacional: M. Books, 2009.

WETHERBE, James C. Análise de sistema para sistemas de informação por computador. 5. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1997.



Obtenção de Scaffolds de Pla via Tinkercad e impressão 3D para potencial uso em engenharia de tecido ósseo

Aline do Socorro Monteiro Castro

Universidade Federal do Pará – Faculdade de Biotecnologia – Grupo de Desenvolvimento Tecnológico em Biopolímeros e Biomateriais da Amazônia. Belém – Pará. Currículo lattes: <http://lattes.cnpq/8286514726204894>

Ailime Lobato Picanço de Melo

Universidade Federal do Pará - Faculdade de Biotecnologia- Grupo de Desenvolvimento Tecnológico em Biopolímeros e Biomateriais da Amazônia. Belém- Pará. Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0109119164487012>

Viktor Oswaldo Cárdenas Concha

Universidade Federal de São Paulo – Faculdade de Engenharia Química. Diadema – São Paulo. Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/0661599261187131>

Marcele Fonseca Passos

Universidade Federal do Pará – Faculdade de Biotecnologia – Laboratório de Biomateriais, Bioprodutos e Tecnologias de Biofabricação - Grupo de Desenvolvimento Tecnológico em Biopolímeros e Biomateriais da Amazônia. Belém – Pará. Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/0588450144351187>

DOI: 10.47573/ayd.5379.2.190.12

RESUMO

A engenharia de tecidos (ET) é um campo multidisciplinar, que utiliza conhecimentos da engenharia, biologia, química e física para reparar e reestruturar tecidos e órgãos. Para tanto, faz uso combinado de biomateriais, células e moléculas bioativas. Os biomateriais, neste caso, conhecidos como suportes ou arcabouços (*scaffold*, do inglês), devem ser biocompatíveis e biodegradáveis, atuando como matrizes tridimensionais para o crescimento celular. A estrutura do *scaffold* deve fornecer, ainda, sustentação mecânica, transporte de nutrientes, de fatores de crescimento e de outras moléculas. Assim, a porosidade é um parâmetro importante na avaliação e desenvolvimento destes materiais. Dentre as tecnologias usadas na obtenção dos *scaffolds*, a impressão 3D (manufatura aditiva) tem ganhado especial atenção, vista a possibilidade de fabricar geometrias complexas para a aplicação em engenharia de tecidos. Assim, este trabalho teve como objetivo modelar arcabouços tridimensionais usando o *Tinkercad* - programa online gratuito, e obter os dispositivos pela tecnologia de impressão 3D para uso em ET ósseo. Os *scaffolds* foram, ainda, caracterizados em termos de morfologia, via microscopia óptica (MO) e microscopia eletrônica de varredura (MEV). A análise do perfil mássico também foi investigada, através de medidas gravimétricas em diferentes pH's. Os resultados mostraram a viabilidade do uso de um programa gratuito para a modelagem de *scaffolds* em ET, e a limitação da tecnologia de impressão 3D do tipo FDM (modelagem por deposição fundida) para a obtenção de poros muito reduzidos, de acordo com a geometria e os parâmetros investigados. Poros de 0.5 mm, em matriz quadrangular, foram obtidos com sucesso.

Palavras-chave: modelagem por deposição fundida (FDM). biomaterial. manufatura aditiva. polímero.

ABSTRACT

Tissue Engineering (ET) is a multidisciplinary field that uses engineering, biology, chemistry, and physics knowledge to repair and restructure tissues and organs. To this end, it combines biomaterials, cells, and bioactive molecules. Biomaterials, in this case, known as supports (*scaffolds*), should be biocompatible and biodegradable, acting as three-dimensional matrices for cell growth. The scaffold structure should also provide mechanical support, nutrient transport, growth factors, and other molecules. Thus, porosity is an essential parameter in evaluating and developing these materials. Among the technologies used to obtain scaffolds, 3D (additive manufacturing) printing has gained special attention, given the possibility of manufacturing complex geometries for application in tissue engineering. Thus, this work aimed to model three-dimensional frameworks using Tinkercad - a free online program, and get devices for 3D printing technology for use in ET bone. The scaffolds were also characterized in terms of morphology via optical microscopy (OM) and scanning electronic microscopy (SEM). The analysis of the mass profile was also investigated through gravimetric measures in different pH's. The results showed the feasibility of using a free program for scaffolds modeling and the limitation of FDM 3D printing technology (fused deposition modeling) to obtain tiny pores according to geometry and the parameters investigated. 0.5 mm pores in a quadrangular matrix were successfully obtained.

Keywords: fused deposition modeling (FDM). biomaterial. additive manufacturing. polymer.

INTRODUÇÃO

A Engenharia de Tecidos é baseada em três elementos fundamentais: células, fatores de crescimento e arcabouços (biomateriais), visando a regeneração de tecidos danificados ou perdidos. No campo da engenharia de tecido ósseo, há o desafio de desenvolver novos biomateriais sintéticos capazes de atuar como andaimes tridimensionais (MAIA-PINTO *et al.*, 2020). Os andaimes ou arcabouços, conhecidos como *scaffolds*, servem de suporte mecânico para adesão, crescimento e formação de um novo tecido. Assim, desempenham um papel fundamental no processo de vascularização e crescimento celular, podendo ser compostos por diversos biomateriais poliméricos. Algumas de suas características fundamentais são: biocompatibilidade, alta resistência mecânica e uma estrutura tridimensional organizada e porosa (BALBINOT *et al.*, 2018). Em adição, à medida que o tempo avança, é necessário que o *scaffold* se degrade dentro do organismo sem gerar reações tóxicas ou adversas ao sistema biológico em questão (SIQUEIRA, 2018).

As propriedades mecânicas dos *scaffolds* também devem ser compatíveis à do tecido nativo a ser substituído. O formato, o tamanho dos poros, e a interconectividade destes são, ainda, características imprescindíveis de estudo, visto que apresentam influência nas interações celulares e no transporte de massa. E, são essenciais no crescimento e sobrevivência das células. Estudos têm demonstrado, por exemplo, que arcabouços com geometria quadrangular podem possuir, aproximadamente, 70% de porosidade. Este valor está de acordo com a faixa de porosidade adequada para andaimes com foco em engenharia de tecido ósseo, apresentando 140,7 MPa de resistência à compressão. O osso cortical humano, a saber, possui esta propriedade com valores na faixa de 90-230 MPa. Diante disso, *scaffolds* quadrados acabam se tornando uma opção simples e resistente (JAHIR-HUSSAIN *et al.*, 2021).

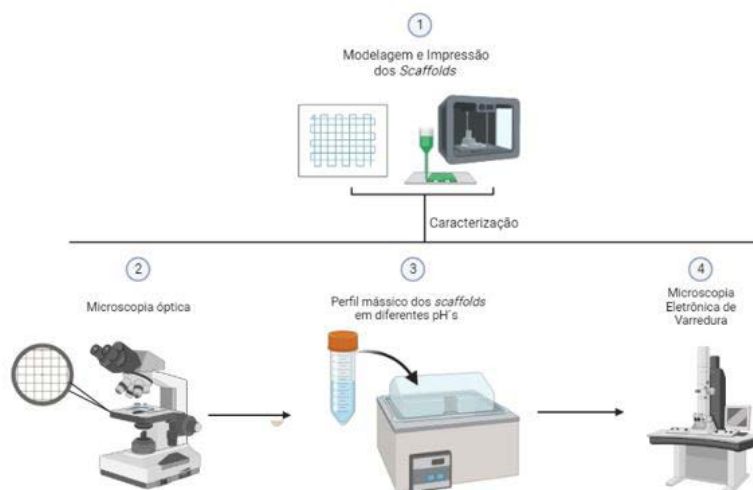
O processo de desenvolvimento do *scaffold*, contudo, envolve várias etapas, a saber: escolha do biomaterial, avaliação da geometria, escolha da técnica de desenvolvimento do arcabouço e o cultivo de células, criando microambientes propícios para a formação da matriz celular (GUDURIC, 2017). No que tange aos tipos de biomateriais, os polímeros mais comumente usuais são da categoria dos poliésteres alifáticos lineares: poliácido glicólico (PGA), poliácido láctico (PLA), poliácido láctico-co-ácido glicólico (PLGA) e seus copolímeros (TAIB *et al.*, 2023). Dentre eles, o PLA se destaca, devido a eminência na sua biossegurança, biocompatibilidade e baixa toxicidade: seus oligômeros são gradualmente hidrolisados em ácidos lácticos monoméricos sob a catálise de enzimas biológicas, e depois metabolizado em água e dióxido de carbono. O ponto negativo do PLA, está relacionado ao tempo de degradação do mesmo (FENG *et al.*, 2021).

Várias são as técnicas de produção dos arcabouços, como: evaporação de solvente, eletrofiliação, liofilização, impressão 3D, etc. Contudo, a impressão 3D por FDM ou FFF (*Fused Deposition Modeling* ou Fabricação por Filamento Fundido), que utiliza filamentos termoplásticos para a produção de objetos tridimensionais, garante uma diversidade de geometrias, precisão na impressão (PAIVA E NOGUEIRA, 2021) e poros interconectados, alcançando estruturas complexas ideais para uso em engenharia de tecidos. Diante disso, este trabalho teve como objetivo modelar geometrias 3D via *Tinkercad* e imprimir *scaffolds* de PLA, com formato quadrangular, via impressão 3D FDM, além de avaliar a morfologia e o perfil mássico em diferentes pH's (ácido, básico e neutro).

MATERIAIS E MÉTODOS

A Figura 1 apresenta o resumo gráfico (graphical abstract) do desenvolvimento e caracterização dos scaffolds. Esta pesquisa foi do tipo quali-quantitativa e é baseada na metodologia de Batista, Guedes (2021) e Wei *et al.* (2023).

Figura 1 - Fluxograma do processo de desenvolvimento e caracterização dos scaffolds.



Materiais

Filamento PLA, transparente, de diâmetro 1.75 mm, foi obtido da empresa 3DLAB. *TinkerCAD* - software gratuito, online, desenvolvido pela *Autodesk*, foi utilizado para a modelagem dos scaffolds, e a impressora Ender 3, do tipo FDM, marca *Creativity*, foi utilizada para a obtenção/ impressão dos mesmos. Hidróxido de sódio P.A (MM = 40,00 g/mol) foi fornecido pela Êxodo científica (Sumaré – SP, Brasil). Solução tampão fosfato-salina (PBS) foi fornecida pela Sigma-Aldrich (Cotia-SP, Brasil). Ácido clorídrico P.A (MM= 36,49 g/mol) foi obtido pela Neon Comercial (Suzano-SP, Brasil).

Metodologia

Modelagem e impressão dos scaffolds

Quatro geometrias dos scaffolds, com tamanho de poros diferenciados, foram modeladas utilizando o software *TinkerCad* (livre acesso), conforme Tabela 1. O projeto foi exportado para o CURA Ultimaker - software fatiador de modelos 3D -, no formato "stl" (estelitografia, do inglês *StereoLithograph*), e os parâmetros de impressão foram ajustados da seguinte forma: temperatura do bico de extrusão a 190°C; velocidade de impressão a 35mm/s ; número de filetes da parede a 2; temperatura da mesa de impressão a 60°C; distância de retração a 6.3 mm e fluxo do filamento a 90.9%. O arquivo de programação G - code foi, então, gerado, sendo conectado à impressora para gerar os scaffolds em 3D.

Tabela 1 - Experimentos e tamanho dos poros dos scaffolds modelados

Experimentos	Poros
1	1 mm
2	2 mm
3	0,25mm
4	0,5 mm

Caracterização

Microscopia óptica (MO)

As quatro geometrias dos *scaffolds* foram avaliadas através do microscópio estéreo binocular P-20, da marca Novex, com magnitude de 40x, a fim de avaliar o tamanho dos poros e a trajetória da luz.

Perfil mássico em diferentes pH's

Os *scaffolds* foram imersos a 37,5°C em diferentes pH's: meio neutro (PBS; pH=7), básico (NaOH 0,1 M) e ácido (HCl 0,1 M) por 24hrs, e o perfil mássico foi avaliado por diferença gravimétrica, em relação a base seca (massa inicial). O ensaio foi realizado em triplicata, e os resultados foram expressos como média \pm desvio padrão.

Microscopia eletrônica de varredura

A micrografia das amostras, controle e imersas em diferentes pH's a 24 horas, foi avaliada por microscópio eletrônico de varredura Jeol, modelo JSM-6610LV, a fim de examinar a resolução da impressão 3D, em função do tamanho dos poros modelados, e a morfologia dos *scaffolds* após análise do perfil mássico. Para tanto, os *scaffolds* foram recobertos com uma fina camada de ouro (equipamento *Denton Vacuum* modelo Desk V, o MEV da Jeol, Moorestown NJ, EUA), e avaliados com tensão de aceleração de 1kV e aumentos de 40x e 1000x.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Geometria e impressão dos *scaffolds*

As Figuras 2 e 3 mostram, respectivamente, o tipo de geometria quadrangular dos *scaffolds* modelados, e a imagem macroscópica dos mesmos, para os experimentos com poros variando entre 0,5 e 1mm (Tabela 1). Arcabouços com poros 2mm (experimento 2) foram descartados para as análises posteriores. De acordo com Egan, P. (2019), o tamanho ideal de poros para aplicação em engenharia de tecido ósseo, situa-se na faixa de 0,2 mm a 1 mm. Isto, pois, é possível a semeadura e a proliferação de células com fluxo de nutrientes suficientes para a reestruturação deste tipo de tecido.

Figura 2 - Geometria dos scaffolds modeladas no programa TinkerCAD

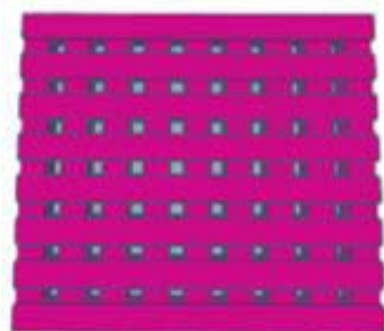
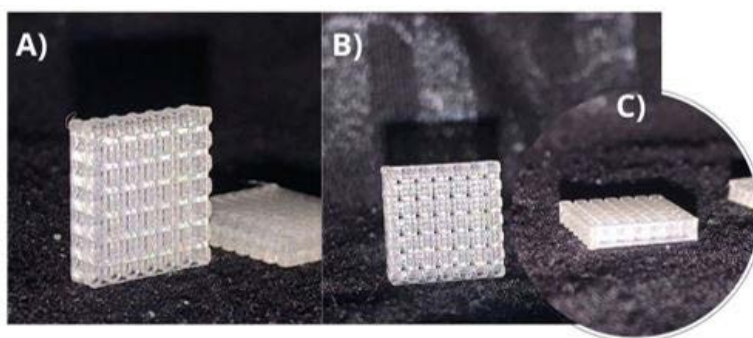


Figura 3 - Vistas macroscópicas dos scaffolds com poros de 0,5mm impressos: (A) vista diagonal; (B) vista frontal; (C) vista lateral

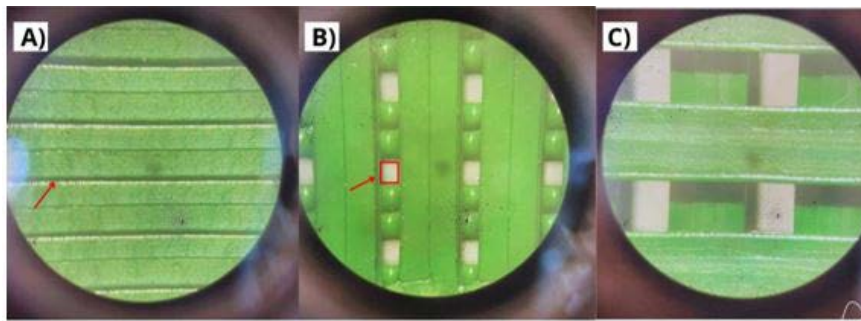


Microscopia óptica

A Figura 4 mostra as microscopias ópticas dos *scaffolds* modelados, com poros de 0,25mm; 0,5mm e 1mm. Foi possível observar os feixes de luz atravessando as camadas dos arcabouços, nos experimentos 1 e 4. Por outro lado, com poros projetados a 0,25 mm (experimento 3), observou-se uma obstrução e fusão dos poros, especificamente, na primeira camada do material impresso. A técnica de impressão 3D do tipo FDM é interessante para produzir matrizes com poros interconectados, a fim de atuarem como substratos 3D para as células. No entanto, esta tecnologia possui limitações em termos de resolução e nível de detalhamento. A geometria e os parâmetros de impressão adotados, como a temperatura da mesa e, ainda, o diâmetro do bico de extrusão, podem interferir na acurácia dos poros impressos. Assim, os *scaffolds* podem apresentar dimensões e características divergentes à geometria modelada. Temperaturas da mesa de impressão muito altas, por exemplo, podem obstruir pequenos detalhes no dispositivo 3D. Para o PLA, é importante frisar, que a temperatura de transição vítrea, varia de 50° a 65°C (CARNEIRO, 2019). A capacidade de fusão/solidificação dos polímeros, para esta técnica, também apresenta restrição (ALAGOZ E HASIRCI *et al.*, 2020).

Em paralelo, conforme Abidin *et al.* (2022), a migração celular, a proliferação e a angiogênese possuem melhor eficácia em poros com diâmetros maiores que 0,4 mm. O autor também afirmou que a técnica FDM só é precisa para a fabricação de *scaffolds* com poros a partir de 0,8mm. Tais estudos, então, corroboram com a qualidade macroscópica dos *scaffolds* produzidos. Optou-se, aqui, pelos andaimes com poros de 0,5mm para a continuidade dos estudos.

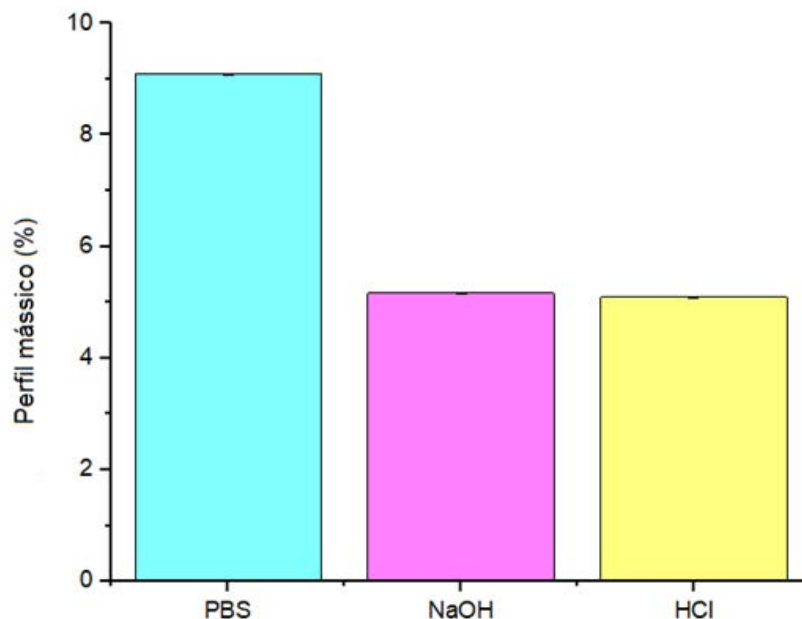
Figura 4 - Microscopia óptica dos *scaffolds* mostrando a passagem de luz e a obstrução dos poros no processo de impressão 3D do tipo FDM: (A) experimento 3 – 0,25mm; (B) experimento 4 – 0,5 mm; (C) experimento 1 – 1mm



Perfil mássico dos *scaffolds* em diferentes pH's

A análise do perfil mássico dos *scaffolds* (0,5mm de poros) pode ser vista na Figura 5. Observou-se uma capacidade de retenção de fluidos em todos os meios testados. Os valores obtidos, em porcentagem, foram: $9,090 \pm 0,010$ para o PBS; $5,161 \pm 0,003$ para NaOH; e $5,095 \pm 0,08$ para HCl. Isso pode estar associado à presença de poros nos materiais. Mas, um aumento de massa significativo em meio neutro, em comparação aos meios básico e ácido foi observado. A estrutura química e a distribuição das massas moleculares presentes na cadeia do PLA interferem na absorção ou repulsão de fluidos e em sua degradação. Em concordância, o meio neutro (PBS) utilizado na análise, possui pH próximo ao da água, e simula condições fisiológicas do corpo humano. Durante as 24 horas, foi observada a difusão das moléculas do PBS na matriz do PLA, com inchamento do *scaffold*. Embora o PLA seja relativamente insolúvel em água, dependendo das características específicas do *scaffold* de PLA e das condições experimentais, o material pode absorver maior teor de água em meio neutro. Em meios ácido (HCl) e básico (NaOH), o PLA pode não absorver o fluido da mesma maneira (CHENG *et al.*, 2019).

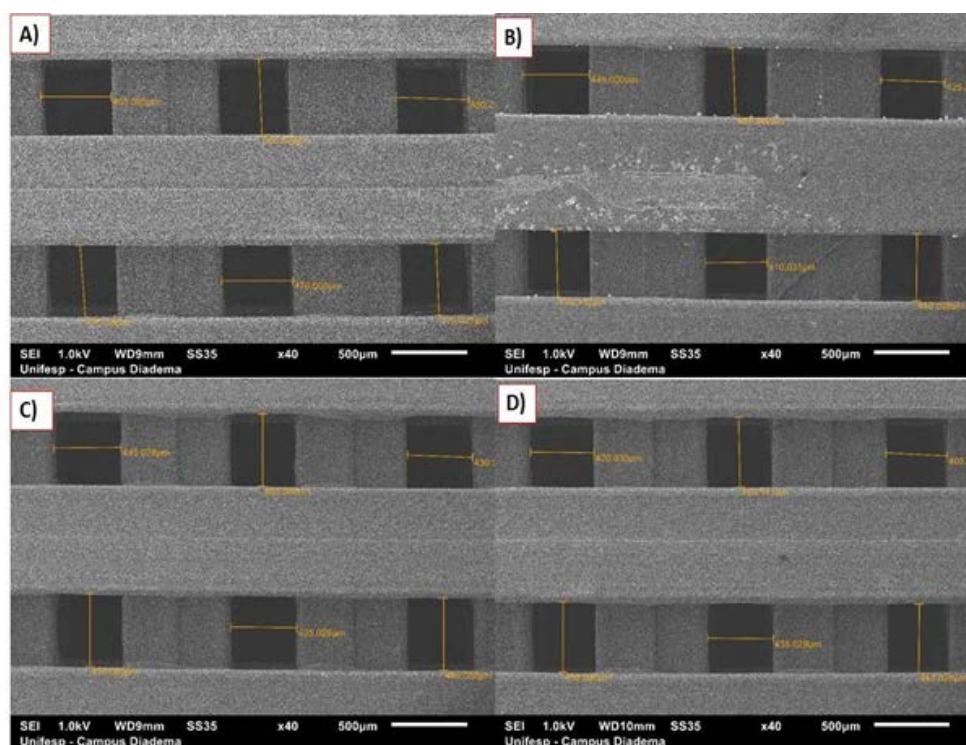
Figura 5 - Perfil mássico dos *scaffolds* de PLA, a 0,5 mm de poros, sob diferentes pH's e a 24 horas.



Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Na Figura 6 podem ser vistas as micrografias dos *scaffolds* antes (controle) e após imersão em diferentes pH's, e a dimensão dos respectivos poros. A largura e o comprimento dos poros obtidos após impressão, e analisados por MEV, foram, em média, 0,403 mm e 0,461mm, respectivamente. Além disso, nos meios ácido e básico, nenhuma mudança significativa na superfície do polímero foi observada. Em contrapartida, em solução tampão fosfato salino (PBS) - meio que simula as condições fisiológicas do corpo humano-, foram observadas a presença de pequenas partículas superficiais. É possível que haja alterações iniciais na superfície do PLA em contato com o fluido. Contudo, a degradação dos *scaffolds* de PLA em ambiente fisiológico é muito lenta (FENG *et al.*, 2021). Segundo Barbosa (2017), *scaffolds* obtidos pela técnica de impressão 3D, do tipo FDM, necessitam de mais de 21(vinte e um) dias para que ocorram alterações significativas nas características microestruturais.

Figura 6 - Micrografias dos scaffolds de PLA a 0,5 mm de poros, após imersão em diferentes pH's: (A) controle; (B) PBS; (C) NaOH; (D) HCl.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Scaffolds de PLA, com geometria quadrangular, foram modelados e obtidos com sucesso, através do TinkerCAD - um programa online e gratuito, e da tecnologia de impressão 3D, do tipo FDM, respectivamente. Análises microscópicas, mostraram, ainda, que os *scaffolds* projetados com dimensões de poros a 0,5 mm foi o mais adequado neste estudo. Não houve obstrução na porosidade, com boa resolução e qualidade de impressão. Em termos do perfil mássico dos *scaffolds*, em diferentes pH's, sugere-se, no entanto, uma avaliação superior a 24 horas, a fim de detectar uma possível degradação e mudanças significativas na superfície do polímero. A combinação do PLA com outros tipos de materiais também deve ser alvo de investigação, em prol de reduzir o tempo de degradação deste tipo de *scaffold* para uso na engenharia de tecido ósseo.

REFERÊNCIAS

- ABBASI, N. *et al.* Porous scaffolds for bone regeneration. *Journal of Science: Advanced Materials and Devices* Elsevier B.V., , 1 mar. 2020.
- ABIDIN, Zainal *et al.* Numerical Investigation of the Mechanical Properties of 3D Printed PLA Scaffold. In: 5th FIRST T1 T2 2021 International Conference (FIRST-T1-T2 2021). Atlantis Press, 2022. p. 83-89.
- ALAGOZ, Ayse Selcen; HASIRCI, Vasif. Impressão 3D de andaimes de engenharia de tecidos poliméricos usando modelagem de deposição fundida de código aberto. *Materiais emergentes*, v. 3, n. 4, pág. 429-439, 2020.
- BALBINOT, G. de S., Collares, FM, Visioli, F., Soares, PBF, Takimi, AS, Samuel, SMW, & Leitune, VCB (2018). Adição de nióbio a pós e andaimes de vidro bioativo derivado de sol-gel: caracterização in vitro e efeito no comportamento de células pré-osteoblásticas. *Materiais Dentários*, 34(10), 1449-1458.
- BARBOSA, Ayeska Moreira Puttini. ESTUDO DA DEGRADAÇÃO DE SCAFFOLDS DE PLA COM ESTRUTURA BIOMIMÉTICA PRODUZIDOS POR MODELAGEM POR FUSÃO E DEPOSIÇÃO (FDM). Orientador: Sidney Nicodemos da Silva. 2017. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.
- BATISTA, R.; GUEDES, M. Caracterização morfológica e mecânica de scaffolds de PLA impressos em 3D com porosidade controlada para substituição de tecido ósseo trabecular. *Ciência e Engenharia de Materiais: C* , v. 118, p. 111528, 2021. See More
- CARNEIRO, Luiz Renato Rodrigues *et al.* Influência da temperatura da mesa de impressão 3d na dureza e dimensões geométricas de amostras em abs. In: submitted in the Proceedings of the 26th Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica. 2019.
- CHAUHAN, Pratik N.; JAT, Rakesh Kumar; SHAH, Biren N. A Co-relation Establishment between Real Time and Accelerated In-vitro Degradation of Novel Biodegradable Excipient. *J. Inventi Impact*, v. 2016, p. 1, 2016
- CHENG, Cheng-Hsin *et al.* Desenvolvimento de scaffold de poli (ácido láctico) impresso em 3D inspirado em mexilhão enxertado com proteína morfogenética óssea-2 para estimular a osteogênese. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine* , v. 30, p. 1-12, 2019.
- EGAN, Paul F. *et al.* Computationally designed lattices with tuned properties for tissue engineering using 3D printing. *PloS one*, v. 12, n. 8, p. e0182902, 2017.
- EGAN, Paul F. Integrated design approaches for 3D printed tissue scaffolds: Review and outlook. *Materials*, v. 12, n. 15, p. 2355, 2019.
- FENG, Pei *et al.* Degradation mechanisms and acceleration strategies of poly (lactic acid) scaffold for bone regeneration. *Materials & Design*, v. 210, p. 110066, 2021.
- GRÉMARE, A. *et al.* Characterization of printed PLA scaffolds for bone tissue engineering. *Journal of Biomedical Materials Research - Part A*, v. 106, n. 4, p. 887–894, 1 abr. 2018.
- GUDURIC, V. 3D Printing and Characterization of PLA Scaffolds for Layer-by-Layer BioAssembly in Tissue Engineering. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01865824>>.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. 10993-13:Biological evaluation of medical devices. 2 ed. [s.l.]: British Standards, 2009. 14 p.

JAHIR-HUSSAIN, M. J. *et al.* The effect of pore geometry on the mechanical properties of 3D-printed bone scaffold due to compressive loading. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, v. 1051, n. 1, p.

MAIA-PINTO, Marianna OC *et al.* Mineralização biomimética em andaimes de PLA impressos em 3D: sobre a resposta de esferoides de osteoblastos primários humanos e implantação in vivo. Polímeros , v. 13, n. 1, pág. 74, 2020.012016, 1 fev. 2021.

PAIVA, Thiago Neves; NOGUEIRA, Cássio Cipriano. Estudo Comparativo Das Principais Tecnologias De Impressão 3D No Brasil. Facit Business and Technology Journal, v. 1, n. 24, 2021.

SIQUEIRA, A. Obtenção de scaffolds poliméricos baseados em poli(ácido lático), hidroxiapatita e óleo de grafeno utilizando o método de manufatura aditiva “Fused deposition modeling”. Orientador: Guilhermino José Macedo Fachine. 2018. Tese (MESTRADO) - Curso de Mestrado Eng. de Materiais e Nanotecnologia, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2018.

TAIB, Nur-Azzah Afifah Binti *et al.* Uma revisão sobre o ácido poliláctico (PLA) como um polímero biodegradável. Polymer Bulletin , v. 80, n. 2, pág. 1179-1213, 2023.

WEI, Xinghui *et al.* Estruturas de PEEK porosas impressas em 3D ativadas por magnésio para osseointegração in vivo, promovendo angiogênese e osteogênese. Materiais Bioativos , v. 20, p. 16-28, 2023.



Estudo de viabilidade do uso do bioconcreto em edificações

Thais Aparecida Dench

Engenharia Civil - UNIPAR

Eduardo Vedovetto Santos

Engenharia Civil - UEM

DOI: 10.47573/ayd.5379.2.190.13

RESUMO

O concreto convencional é o material mais utilizado na construção civil e uma de suas principais patologias é a corrosão da armadura, patologia esta que traz grandes riscos à construção, podendo levar até mesmo ao desmoronamento da obra. Essa corrosão se dá por meio da entrada de umidade no concreto através de trincas, fissuras e rachaduras. Dessa forma, foi desenvolvido o bioconcreto que é uma tecnologia que vem ganhando força no mercado da construção civil devido ao seu poder de regeneração na presença das aberturas já citadas. O presente estudo objetiva verificar a capacidade de recuperação de fissuras do bioconcreto. Para essa pesquisa foram realizados testes e experimentos laboratoriais para a criação de corpos-de-prova por meio de testes de resistência à compressão, análise de reparação de trincas e fissuras. Observou-se que durante os testes realizados, o bioconcreto demonstrou baixa resistência à compressão, e, também, à recuperação de suas aberturas.

Palavras-chave: concreto. fissuras. bioconcreto.

ABSTRACT

The conventional concrete is the most used material in civil construction, and one of its main pathologies is the corrosion of the reinforcement, a pathology that brings great risks to constructions, and can even lead to the collapse of the work. This corrosion is occurred due the moisture in the concrete through cracks. Because of this, bioconcrete was developed, which is a technology that has been gaining popularity in the civil construction market due to its regenerative power in the presence of the same fissures. The present study aims to verify the crack recovery capacity of the bioconcrete. For this research, analysis and laboratory experiments were done for the creation of new specimens, therefore, new tests were performed on compressive power, analysis of fissure repair. During the tests, bioconcrete presented low resistance to compression, and also, recovery of its ruptures.

Keywords: concrete. cracks. bioconcrete.

INTRODUÇÃO

Segundo Gonçalves (2015), as estruturas de concreto estão sujeitas ao aparecimento de diversas patologias. As principais manifestações são as trincas e fissuras; são pequenas aberturas, raramente são prejudiciais à integridade da estrutura, porém, são portas de entrada para inúmeras impurezas e infiltração que, com o passar do tempo, irão prejudicar a vida útil dos materiais. Uma alternativa a ser considerada é a utilização do bioconcreto, que é um material que utiliza conceitos de biologia e engenharia capaz de se regenerar.

De acordo com Euzébio, Alves e Fernandes (2017), o surgimento de fissuras em estruturas de concreto é inevitável, sendo assim, é importante que haja o controle dessas patologias. O concreto comum em si é altamente resistente quando utilizado da forma correta, porém, se mal dimensionado, mal executado ou se sofrer influências de fatores externos, como a chuva, por exemplo, surgirão rachaduras. A infiltração de água faz com que ocorra a deterioração do verga-

lhão de aço que reforça a estrutura fazendo com que a mesma perca sua resistência, podendo chegar até ao desmoronamento da estrutura. O aparecimento de fissuras compromete a durabilidade da obra, e, assim, é necessário realizar o reparo, porém, com as tecnologias conhecidas e já usadas, o custo desse concreto aumenta.

British Broadcasting Corporation (BBC) (2016) coloca que o bioconcreto desenvolvido por pesquisadores da Universidade Técnica de Delft na Holanda foi criado devido à necessidade de se ter estruturas super-resistentes. O bioconcreto é uma tecnologia que vem sendo estudada por sua capacidade de “auto-cicatrização” e seu longo tempo de vida útil; estudos apontam que a tecnologia tem duração em torno de 80 anos. O mesmo se dá pela junção do concreto convencional e colônias de uma bactéria chamada bacillus pseudorfimus. Tais bactérias são capazes de habitar os mais diversos tipos de ambientes. Junto a essa mistura é acrescentado o lactato de cálcio que servirá como alimento para as bactérias. Ainda, o autor argumenta dizendo que com o surgimento de fissuras, introdução de umidade e o oxigênio no concreto, essas bactérias, antes em estado de dormência, irão “acordar”, consumir o lactato de cálcio, e, posteriormente, produzir o calcário que irá reparar as rachaduras, trincas e fissuras em no máximo três semanas.

O bioconcreto apesar de todos seus benefícios ainda é muito pouco usado e existem poucos estudos sobre ele. Assim sendo, o presente trabalho tem por objetivo verificar a capacidade de recuperação de fissuras do bioconcreto, a fim de trazer novas informações sobre o mesmo, para que, assim, ele possa passar a ser uma tecnologia usual.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Uso do concreto convencional na construção civil x uso do bioconcreto na construção civil

Segundo Kaefer (2008), o concreto, hoje utilizado, é fruto do trabalho de milhões de homens durante milhares de anos, pois, desde os primórdios da civilização, a humanidade busca por técnicas construtivas a fim de morar, e, cada vez, morar melhor. O primeiro concreto que se tem notícia data-se do ano de 12000 a.C.; uma mistura feita com calcário e argila siltosa que durante combustão espontânea formaram um depósito natural de compostos de cimento. Esse cimento natural foi o primeiro que os homens usaram. Desde então, o homem vem buscando por melhores materiais e melhores resultados para construção civil, fazendo com que o concreto seja hoje o material mais usado do mundo na construção civil.

De acordo com Tecnosil (2019), os principais e mais importantes tipos de concreto utilizados são: convencional, bombeável, leve, pesado, projetado, autoadensável, submerso, pré-moldado e pré-fabricado. O convencional, como o nome já indica, é o tipo mais utilizado na construção civil, sua fabricação pode ser feita em usinas ou na própria construção com betoneira. O bombeável é semelhante ao concreto convencional, também é muito utilizado na construção civil, sua diferença é possuir maior fluidez para que assim possa ser feito o seu bombeamento e alcançar maiores distâncias em sua aplicação; para que seja mais fluido, aumenta-se a quantidade de água ou usa-se aditivos químicos, para que, assim, o mesmo tenha maior trabalhabilidade e, também, para que haja a diminuição da granulometria do agregado graúdo. Quanto ao concreto leve, o mesmo possui densidade menor em relação ao convencional devido ao uso de

agregados leves em sua composição, como por exemplo: argila expandida, isopor etc. ou até mesmo pela incorporação de bolhas de ar no concreto; a argila expandida é usada para o concreto estrutural; as bolhas de ar são usadas para preenchimentos e vedação de paredes, painéis etc. O concreto pesado se difere na utilização dos agregados; nesse caso usam-se a hematita, magnetita e a barita, considerados agregados especiais; esse tipo de concreto possui maior resistência mecânica, durabilidade e proteção contra radiações.

Ainda de acordo com o autor, o concreto projetado possui maior fluidez que o bombeável, pois se faz uso de aditivos que elevam sua aderência ao substrato, é o tipo de concreto muito utilizado em encostas para evitar deslizamentos, túneis, etc. O concreto autoadensável tem como principais características a fluidez e a resistência à segregação, mesmo sendo muito fluidos, os agregados e a pasta de cimento não segregam; é muito utilizado em concretagens submersas e fábricas de pré-moldados. O concreto submerso faz uso de sílica ativa, esse tipo de concreto é aplicado na presença de água, como tubulões, barragens, estruturas submersas etc. Nos concretos pré-moldados e pré-fabricados, elementos estruturais como pilares, vigas, etc, são moldados e adquirem resistência antes de sua colocação na estrutura. No caso do pré-fabricado, o mesmo é feito de maneira mais industrial e deve atender a padrões mais rigorosos de controle de qualidade.

De acordo com Portal do Concreto (2020), o concreto convencional que é o material de maior utilização na construção civil se dá por meio da mistura de areia, brita, água e cimento, conforme mostra a Figura 1.

Figura 1 - Concreto Convencional.



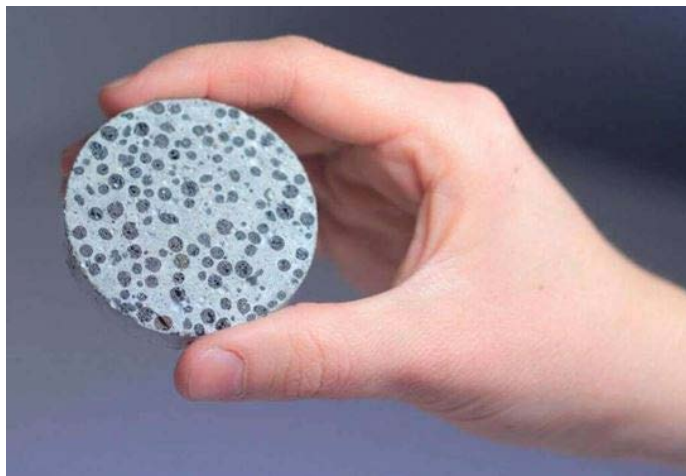
Fonte: Atex Brasil (2020).

De acordo com a Universidade de Campinas (UNICAMP, 2020), o concreto convencional é o material mais importante e mais usado na construção civil no Brasil e no mundo e é o segundo material mais usado pelo homem; seu uso vem crescendo mais a cada ano conforme aumentam as construções no Brasil. Esse crescimento deve-se a alguns fatores como: versatilidade (fácil produção, manuseio, etc.), durabilidade, economia e a sua alta resistência à água. Ele é encontrado em todo tipo de construção: casas, pontes, rodovias, edifícios, etc.

Segundo Kaefer (2008), ao mesmo tempo em que o concreto convencional é o material mais usado e mais importante, a busca por inovações e novas tecnologias não param, com isso, o bioconcreto se mostra uma nova e interessante opção de concreto a ser usado.

Nascimento (2018) afirma que o bioconcreto se dá através da mistura de concreto convencional, bactéria *bacillus pseudofimus* e lactato de cálcio, conforme apresenta a Figura 2.

Figura 2 - Bioconcreto.



Fonte: Faz Fácil (2020).

Consoante com Tem sustentável (2020), o bioconcreto é capaz de se regenerar na aparência de trincas e fissuras de até no máximo 8 mm de largura e extensão de centímetros até quilômetros, a bactéria ainda em estado de dormência “acorda”, consome o lactato de cálcio e produz o calcário, realizando, assim, sua auto-cura em até no máximo três semanas. Isso faz com que o bioconcreto seja extremamente atrativo para construção civil, principalmente na construção de pontes e grandes edifícios que quando apresentam trincas e fissuras demandam de mão-de-obra e gastos, além de gerar transtorno aos moradores ou população próxima.

Segundo Henk Jonkers para Tem Sustentável (2020), o produto foi utilizado no Equador – país que apresenta grande incidência de abalos sísmicos – para a estruturação de canais de irrigação. O autor reitera dizendo que o bioconcreto seria eficaz também para edificações antigas e propensas a abalos por suas rachaduras, sendo útil principalmente em prédios vulneráveis a pequenos tremores.

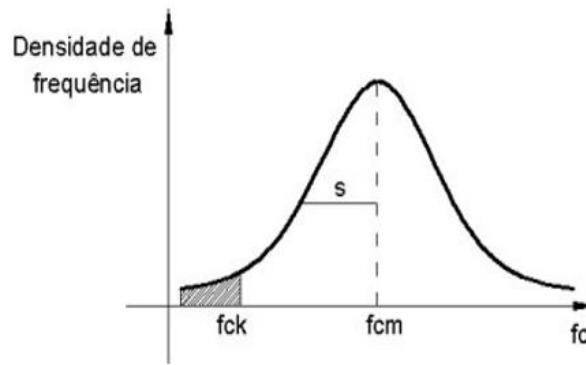
O bioconcreto ainda está em fase de estudos e testes, e, ainda, luta por um lugar no mercado, sendo muito pouco utilizado até o momento.

Resistência do concreto convencional x resistência do bioconcreto.

De acordo com Portal do Concreto (2020), Pascal é a pressão exercida por uma força de 1 newton, uniformemente distribuída sobre uma superfície plana de 1 metro quadrado de área, perpendicular à direção da força. Mega Pascal (MPa) = 1 milhão de Pascal = 10,1972 Kgf/cm².

Segundo o mesmo autor, a resistência do Concreto Convencional à compressão pode variar de 10MPa até 40MPa (Mega Pascal). Esse resultado é obtido através de ensaio laboratorial utilizando corpo-de-prova. No Brasil, o padrão é o cilíndrico de 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura, e a referência para o ensaio é de 28 dias. São feitos ensaios em um grande número de corpos-de-prova e seus resultados são relacionados em um gráfico com os valores obtidos versus a quantidade de corpos-de-prova, também denominada densidade de frequência; a curva encontrada é conhecida como Curva Estatística de Gauss ou Curva de Distribuição Normal para a resistência do concreto à compressão que pode ser vista na Figura 3.

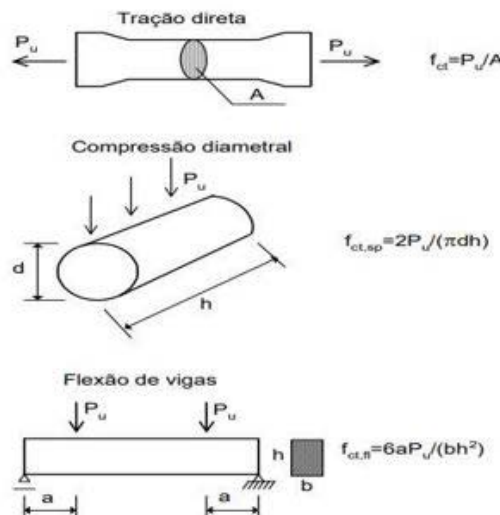
Figura 3 – Curva de Gauss para a resistência do concreto à compressão.



Fonte: Portal do Concreto (2020).

Conforme Araújo (2001), a resistência à tração do concreto se dá através de três ensaios diferentes: ensaio de tração axial, ensaio de compressão diametral ou ensaio de flexão de vigas. A figura 4 apresenta a descrição dos tipos de ensaios.

Figura 4 - Tipos de Ensaios de Tração.



Fonte: Portal do Concreto (2020).

De acordo com o mesmo autor, como nos ensaios de compressão, os ensaios de tração também se dão através de valores médios obtidos em corpos-de-prova, porém, nos testes de tração encontram-se uma maior variabilidade.

De acordo com Takagi (2013), durante testes e ensaios utilizando o bioconcreto, o mesmo se mostrou altamente eficiente, apresentando melhores resultados que o concreto comum, como na sua capacidade de compressão e sua autocicatrização rápida.

Ainda, de acordo com Takagi (2013), o bioconcreto não é resistente à tração, sendo necessário o uso do aço.

Custo do concreto convencional x custo do bioconcreto.

O bioconcreto pode elevar o valor de grandes projetos. Segundo *British Broadcasting Corporation* (BBC) (2018), o metro cúbico do concreto convencional custa hoje pouco menos de US\$

80 (algo em torno de R\$ 360,00), enquanto o bioconcreto passa dos US\$ 110 (aproximadamente R\$ 495,00), um aumento de quase 40%.

Apesar de o bioconcreto possuir um valor maior que o convencional, é necessário lembrar que o mesmo elimina a maioria dos custos de reparação na presença de fissuras, ou seja, o seu custo elevado é compensado a longo prazo, uma vez que o mesmo diminui ou até mesmo elimina a necessidade de manutenção dos elementos.

Realizou-se uma pesquisa para a verificação de custos e o resultado foi que o custo para fabricação de 7 corpos-de-prova do bioconcreto ficou em torno de R\$ 75,00. Sendo que R\$ 1,50 foi o valor do lactato de cálcio adquirido através de site na internet (referente a 15g); R\$ 3,50 de cimento comprado na cidade de Guaíra-PR (referente a 3kg) e R\$ 60,00 de *Bacillus Subtilis*, comprado em um site agropecuário (referente a 500g de SERENADE); a água, a brita e a areia foram disponibilizadas pela universidade e devem atingir um máximo de R\$ 10,00 pela quantidade utilizada.

Custo para reparação de trincas, fissuras e rachaduras no concreto convencional x custo para reparação de trincas, fissuras e rachaduras no bioconcreto

Segundo Tem Sustentável (2020), a reparação de trincas, fissuras e rachaduras se faz necessária uma vez que os mesmos podem causar maiores danos à estrutura. No concreto convencional, ao surgir essa patologia, é necessário uso de produtos específicos para tal reparação, material para novo acabamento da superfície, dependendo de onde a patologia surja e mão de obra qualificada. Esses materiais geram custos elevados considerando a extensão do problema a ser resolvido.

Especificando de maneira mais clara, de acordo com Tem Sustentável (2020), na Europa são gastos mais de 22 bilhões de reais por ano com a restauração de edifícios danificados.

Lima, *et al.*, (2014) afirma que no bioconcreto a reparação não é necessária, uma vez que o próprio material se regenera. Dessa forma, os custos com produtos regenerativos e mão de obra qualificada não se fazem presentes, apenas será necessário observar se o acabamento da superfície foi atingido, caso isso tenha acontecido, deve-se refazer o acabamento com o uso da massa corrida, tinta, etc.

Impactos ambientais: concreto convencional X bioconcreto

De acordo com Santos (2013), o processo de produção de concreto é um dos maiores consumidores de matéria-prima virgem, como areia, pedra, cascalho moído e água fresca, gerando significativo impacto ambiental. Todavia, reside na produção do cimento Portland, ingrediente indispensável ao concreto o maior impacto. Por ano o consumo do cimento se aproxima a 2 bilhões de toneladas, gera grande volume de extrações de rochas e movimentações de terra. A produção do cimento corresponde a 7% da emissão de CO₂ na atmosfera, algo que contribui diretamente para o aquecimento global e o efeito estufa.

Santos (2013) também contribui ao dizer que os aditivos químicos têm demonstrado resultados satisfatórios em misturas à base de cimento Portland, reduzindo consideravelmente

a necessidade de água na produção de concretos. O uso combinado de vários desses materiais tem resultado em concretos que ao mesmo tempo em que atendem aos requisitos de projeto no estado fresco e endurecido, são capazes de colaborar para a sustentabilidade não só da cadeia produtiva da construção civil, mas também minimiza danos ambientais de outros segmentos industriais.

Ainda, segundo Santos (2013), o bioconcreto é considerado como uma tecnologia sustentável e se mostra como uma nova ferramenta aliada ao meio ambiental, uma vez que a mesma é capaz de se regenerar, assim como ocorre com alguns seres vivos. Com o uso do bioconcreto não serão necessárias reparações, pois não será gerado resíduo dessa fase.

Tabela benefícios concreto convencional x bioconcreto.

O Quadro 1 abaixo representa os benefícios entre o uso do concreto convencional e o bioconcreto. O item marcado com “X” representa o tipo de concreto com maior benefício.

Quadro 1 - Benefícios concreto convencional x bioconcreto.

BENEFICIO	CONCRETO CONVENCIONAL	BIOCONCRETO
MAIS UTILIZADO	X	
MENOR CUSTO	X	
MENOR IMPACTO AMBIENTAL		X
MAIOR RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	X	
MENOR CUSTO COM REPARAÇÕES		X

Fonte: Autora (2020)

METODOLOGIA

Preparo dos materiais

Para a realização dos experimentos foram utilizados os seguintes materiais: lactato de cálcio, argila expandida e *Bacillus subtilis* (conforme figura 5), além de água, areia, cimento e brita. O lactato de cálcio utilizado encontrava-se em estado sólido, em forma de pó. A argila expandida utilizada foi a brita 2 leve da marca Cinexpan.

Figura 5 – *Bacillus Subtillis* em meio de cultura, argila expandida e lactato de cálcio.



Fonte: Autora (2020)

A *Bacillus subtilis* utilizada para esse experimento foi adquirida através de compra em site agropecuário, a mesma já se encontrava em meio de cultura com nome comercial “Serenade” e foi utilizada dessa forma. A figura 6 apresenta a bactéria *Bacillus subtilis* utilizada contendo 1 bilhão de UFC/g (unidade formadora de colônia por grama).

Figura 6 – Bacillus Subtilis em meio de cultura.



Fonte: Autora (2020).

Para a construção do bioconcreto foi necessário o preparo dos três materiais mostrados na figura 5. Para isso, foram aquecidos 2 litros de água à temperatura de 40°C com o equipamento apresentado abaixo na figura 7 e conforme a figura 8.

Figura 7 – Banho- maria utilizado para aquecimento da água.



Figura 8 – Termômetro indicando a temperatura que a água atingiu no banho-maria.



Fonte: Autora (2020).

Essa água foi transferida para outro recipiente, um jarro plástico, onde permaneceu em constante agitação, visto na Figura 9.

Figura 9 – Água aquecida em novo recipiente para receber a mistura de *bacillus subtilis* e lactato de cálcio.



Fonte: Autora (2020).

Foi adicionada à água 15 gramas de lactato de cálcio que foi misturado durante 2 minutos, conforme figura 10, após isso foi adicionado 500 gramas de *vacillus subillis*, que foi incorporada à mistura por agitação durante 2 minutos, mostrada na figura 11.

Figura 10 – Lactato de Cálcio sendo misturado à água aquecida.



Figura 11 – *Bacillus subillis* sendo adicionada à mistura.



Fonte: Autora (2020).

A Figura 12 apresenta a mistura finalizada.

Figura 12 – Mistura Pronta.



Fonte: Autora (2020)

Após finalização da mistura, adicionou-se e 4,5 kg de argila expandida (conforme a figura abaixo) para que a mesma pudesse absorver o líquido, pois é na argila expandida que a *Bacillus subtilis* consegue sobreviver e se alimentar do lactato de cálcio.

Figura 13 – Argila Expandida recebendo a mistura.



A argila expandida permaneceu durante dois dias em umidade higroscópica, e após esse período, a mesma foi pesada novamente e apresentou peso de 7,75 kg; essa diferença foi retirada e para a criação dos corpos-de-prova utilizou-se apenas 4,5 kg, respeitando o traço proposto que será esclarecido no item 3.2.

Criação de corpos-de-prova

Foram confeccionados no laboratório da Universidade Paranaense (UNIPAR)- Unidade de Guaíra, no dia 16/09/2020, sete corpos-de-prova nas dimensões 10x20cm, de bioconcreto, utilizando lactato de cálcio, *Bacillus subtilis*, argila expandida, brita, areia e água. O traço utilizado foi de 1:2:3:0,5, sendo estes: 3 kg de cimento; 6 kg de areia; 4,5 kg de argila preparada; 4,5 kg de brita; 1,5 litros de água (conforme figura 14) recebendo 15 golpes por camada, sendo duas camadas o recomendado por norma (figura 15).

Figura 14 - Materiais utilizados para confecção dos corpos-de-prova.



Fonte: Autora (2020).

Figura 15 - Corpos-de-prova recebendo golpes.



Fonte: Autora (2020).

A figura 16 apresenta os corpos -de- prova finalizados.

Figura 16 - Corpos-de-prova prontos



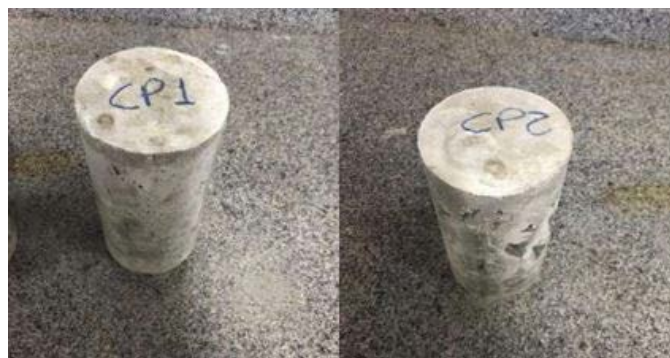
Após cinco dias, os corpos-de-prova foram desmoldados e foi possível perceber que dois deles apresentavam vazios de concretagem (figura 17) e por isso foram descartados. Dos cinco que sobraram, dois foram separados para análise da autorreparação do bioconcreto (figura 18), dois foram submersos em água (figura 19) para processo de cura com duração de 21 dias, e um permaneceu fora da água para curar em temperatura ambiente também com 21 dias.

Figura 17 - Corpos-de-prova que apresentaram vazios de concretagem.



Fonte: Autora (2020).

Figura 18 - Corpos-de-prova fissurados para análise da auto reparação.



Fonte: Autora (2020).

Figura 19 - Corpos-de-prova submersos em água.



Realização de ensaio de compressão nos corpos-de-prova após a cura

Três corpos-de-prova foram selecionados para realização de ensaio de compressão, dois deles permaneceram 21 dias submersos em água e um deles permaneceu fora da água durante também 21 dias. Após 21 dias em processo de cura, os corpos-de-prova foram retirados da água e retificados, conforme figura 20 e figura 21.

Figura 20 - Corpo-de-prova sendo retificado.



Fonte: Autora (2020).

Figura 21 - Corpos-de-prova retificados.



Fonte: Autora (2020).

Após a retificação, realizou-se o ensaio de compressão nos três corpos-de-prova, visto na figura 22.

Figura 22 - Corpo-de-prova durante ensaio de compressão.



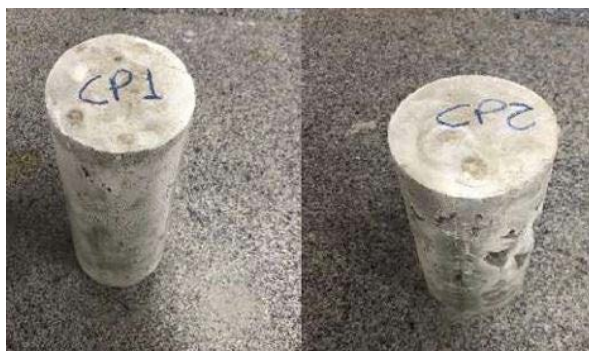
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise durante a reparação

Dois dos sete corpos-de-prova, CP1 e CP2 foram separados a fim de observar a fissuração e como o bioconcreto trabalha durante sua reparação. Os corpos-de-prova foram observados durante 23 dias.

A figura 23 apresenta os objetos selecionados.

Figura 23 – Corpos-de-prova para análise de reparação



Fonte: Autora (2020).

Figura 24 - Fissuração primeiro dia - CP1.



Fonte: Autora (2020).

Figura 25 - Fissuração primeiro dia – CP2



Fonte: Autora. (2020)

As figuras 26 e 27 mostram as fissuras no CP1 e CP2 após a primeira semana. Percebe-se visualmente que não houve alterações nas fissuras, o que deveria ter ocorrido devido à retração e perda térmica do concreto. Isso mostra que as bactérias foram ativadas, impedindo a

fissuração do concreto.

Figura 26 - Fissuração após 1 semana – CP1.



Fonte: Autora (2020).

Figura 27 - Fissuração após 1 semana – CP2.



Fonte: Autora (2020).

As Figuras 28 e 29 mostram as fissuras no CP1 e CP2 após a segunda semana. Ainda não é possível notar um fechamento das fissuras, mas também não apresentam aumentos.

Figura 28 - Fissuração após 2 semanas – CP1.



Fonte: Autora (2020).

Figura 29 - Fissuração após 2 semanas – CP2.



Fonte: Autora (2020).

Análise após a reparação

Após os 23 dias observou-se grande mudança em um dos corpos-de-prova, o CP2. Suas fissuras estavam fechadas, algumas ainda em processo de fechamento, porém já demonstrando grande diferença em relação ao dia em que surgiram as fissuras. O outro corpo-de-prova, o CP1, apresentava vazios de concreto e suas fissuras praticamente não fecharam, o que significa que, caso a estrutura apresente “bicheira”, a regeneração se mostra mais lenta e menos eficaz. O comparativo pode ser visto nas figuras 30 e 31.

Figura 30 - Resultados com “antes e depois” CP1.



Fonte: Autora (2020).

Figura 31 - Resultados com “antes e depois” CP2.



Fonte: Autora (2020).

Resultados do ensaio de compressão

Foi realizado ensaio de compressão nos três corpos-de-prova, os quais obtiveram resultados de: 8,2 MPa e 8,9 MPa, sendo CP3 e CP4 respectivamente para os que permaneceram em água, conforme mostram as figuras 32 e 33.

Figura 32 - Resultado de compressão CP3.

Dados cadastrais do corpo de prova				
Nome C.P.	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo Ruptura
CP 01 AGUA	21	8,2(MPa)	6.580(kgf)	
Média:		8,2(MPa)	6.580(kgf)	



Fonte: Autora (2020).

Figura 33 - Resultado de compressão CP4.

Dados cadastrais do corpo de prova				
Nome C.P.	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo Ruptura
CP 02 AGUA	21	8,9(MPa)	7.130(kgf)	
Média:		8,9(MPa)	7.130(kgf)	



Fonte: Autora (2020).

Para o que permaneceu fora da água, CP5, obteve-se 6,1 MPa de resistência à compressão, visto na figura 34.

Figura 34 - Resultado de compressão CP5.

Dados cadastrais do corpo de prova				
Nome C.P.	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo Ruptura
CP 01 SECO	21	6,1(MPa)	4.850(kgf)	
Média:		6,1(MPa)	4.850(kgf)	



Fonte: Autora (2020).

De acordo com as experiências realizadas para compor essa pesquisa, foi possível perceber que o bioconcreto demonstrou resistência inferior ao esperado (aproximadamente 20fck). Provavelmente, o bioconcreto necessita de mais brita do que fora utilizado neste experimento para que, assim, sua resistência à compressão aumente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante das experimentações e análises apresentadas nesse estudo, foi possível observar que o bioconcreto demonstrou eficácia, uma vez que fechou suas trincas e continuou trabalhando para total reparação. Através dos resultados dos ensaios de compressão, bem como das sínteses observadas, pode-se dizer que o bioconcreto é altamente eficiente, pois consegue trabalhar com suas fissuras, trincas e rachaduras, porém, por apresentar valor mais elevado, o bioconcreto apresentaria melhor custo- benefício para grandes edificações que necessitem constantemente de manutenções nessas patologias, como por exemplo, pontes, casas de alto padrão ou edifícios em locais que apresentem abalos sísmicos de pequena dimensão, etc.

O bioconcreto, por ainda estar em seus primeiros testes, configura-se como algo de difícil acesso, pois há uma grande dificuldade em se obter os materiais necessários para seu desenvolvimento, bem como o conhecimento de como usá-los, precisando, ainda, de grande investimento nas pesquisas. Essa tecnologia se faz merecedora de outros trabalhos técnicos, pois, futuramente poderá ser efetivamente utilizada e modificada de forma a atender ainda mais as necessidades dos setores que utilizam o concreto. Assim, com novas descobertas pode-se melhorar o funcionamento do bioconcreto e diminuir seu valor de investimento.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, José Milton de. A resistência à tração e energia de fratura do concreto. Número 2. Rio Grande: Editora Dunas, 2001.

BBC. Conheça o Bioconcreto, material que fecha as próprias rachaduras. 2016. Disponível em <<http://bbc.com/geral-37204389>>. Acesso em: 10/05/2020.

EUZÉBIO, Luiz Antonio; Alves, Thiago Rodrigues; FERNANDES, Vitor Andrade. BIOCONCRETO: estudo exploratório de concreto com introdução de Bacillus Subtilis, Bacillus Licheniformis, acetato de cálcio e ureia. 2017. 60f. Trabalho de Conclusão de Curso (monografia) – Curso de Engenharia Civil ou Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

FAZ FÁCIL. Construir com bioconcreto. 2020. Disponível em:<<https://www.fazfacil.com.br/reforma-construcao/construir-com-bioconcreto/>> Acesso em: 20/06/2020.

GONÇALVES, Eduardo Albuquerque Buys. Estudo de patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações. 2015. 174f. Trabalho de conclusão de curso (monografia) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

KAEFER, Luis Fernando. Concreto. Cimento.org, 2008. Disponível em<<http://cimento.org/concreto/>>. Acesso em: 20/06/2020.

LIMA, Caio Ivson Vasconcelos; *et al.* Concreto e suas inovações. 2014. 10f. Trabalho de conclusão de curso (monografia) – Curso de Engenharia Civil, Faculdade Integrada Tiradentes – FITS, Maceió, 2013.

NASCIMENTO, Marlesson Soares do. A implantação do Bioconcreto desenvolvido para solucionar problemas tais como: fissuras, rachaduras e trincas. 2010. 15f. Trabalho de conclusão de curso (monografia) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário do Norte (UNINORTE), Manaus, 2010.

PORTAL DO CONCRETO. Resistencia característica do concreto à compressão. 2020. Disponível em <<http://portaldoconcreto.com.br/controle-tecnológico>>. Acesso em: 20/06/2020.

SANTOS, Silvia. Concreto com sustentabilidade. CREA-SC, 2013. Disponível em:<<http://crea-sc.org.br/portal/index.php?cmd=artigos-detalle&id=2660#.XwPiEChKiUk>> Acesso em: 07/07/2020.

SILVA, Felipe Portela Candido; PASSARINI, Victor de Carvalho, BIOCONCRETO: a tecnologia para a construção sustentável. INOVAE, 2017. Disponível em<<http://revistaseletronicas.fmu.br/index.php/inovae/article/view/1678>>. Acesso em: 10/05/2020.

TAKAGI, Emilio Minoru. Concretos Autocicatrizantes com cimentos brasileiros de escória de alto-forno ativados por catalisador cristalino. 2013. 130f. Dissertação de mestrado (monografia) – Engenharia de Infraestrutura Aeroportuária, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2013.

TECNOSIL. O que é concreto e quais os principais tipos utilizados na construção? 2019. Disponível em<<http://tecnosilbr.com.br/o-que-e-concreto-e-quais-os-principais-tipos-utilizados-na-construcao-2/>>. Acesso em: 20/06/2020.

TEM SUSTENTÁVEL. Bioconcreto se autorregenera e pode recuperar antigas construções. 2020. Disponível em: <<http://temsustentavel.com.br/bioconcreto-se-autorregenera-e-pode-recuperar-antigas-construcoes/>> Acesso em: 07/07/2020.

UNICAMP. O uso do concreto na construção civil. 2020. 10f. Resumo do curso de engenharia civil. Disponível em: http://fec.unicamp.br/~caxd/falcetta/_resumos/eng5.pdf Acesso em: 20/06/2020.



An Overview of the Characterization of Polymeric Nanocomposites Based on Graphene Oxide and Chitosan

Vinicius Rossa
Luanne Ester Monteiro Ferreira
Sancler da Costa Vasconcelos
Vinicius Gomes da Costa Madriaga
Thiago de Melo Lima

DOI: 10.47573/ayd.5379.2.190.14

ABSTRACT

Nanotechnology had a great technological advance after the discovery of the graphene family (graphene - Gr, graphene oxide - GO, and reduced graphene oxide-rGO). Based on the excellent properties of graphene, it is possible to develop novel polymeric nanocomposites with improved thermal, mechanical, chemistry, anti-microbial, and other when compared to its pure polymer matrices as chitosan. Several analytical techniques that can be used to characterize these polymeric nanocomposites will be discussed here, such as thermal analysis (TGA, DTG, and DSC), spectroscopic analysis (FTIR, RAMAN, NMR, XPS), structural Analysis (XRD, TEM); chemical analysis (CHNS/O, XPS) and morphological analysis (SEM, TEM). This chapter also makes a significant contribution to the scientific community by providing valuable information on analytical techniques and when to use them for understanding the characteristics of nanomaterials, polymeric matrices, and nanocomposites that may be produced in the future. Another important point to mention is the use of renewable polymeric matrices as a more environmentally friendly alternative to fossil-based ones, highlighting the significance of ongoing research in creating polymeric nanocomposites that are increasingly sustainable.

Keywords: graphene. graphene oxide. chitosan. polymeric nanocomposites characterization.

INTRODUCTION

The production of polymeric nanocomposites is the key to modify and enhance the properties of a polymer, generating new multifunctional materials with high performance. Polymeric nanocomposites made of graphene and graphene oxide represent one of the most promising technological developments.^{1,2}

According to IUPAC, graphene consists of a single layer of carbon with the nature of a polycyclic aromatic hydrocarbon of nearly infinite size.³ Graphene has a large surface area that enables its application in adsorption and heterogeneous catalysis.⁴ The production of graphene from graphite has attracted great attention due to its exceptional properties, opening up a new area of research in science and nanotechnology, thanks to the versatility of the carbon element, which is considered the basic structural unit of organic chemistry.⁵

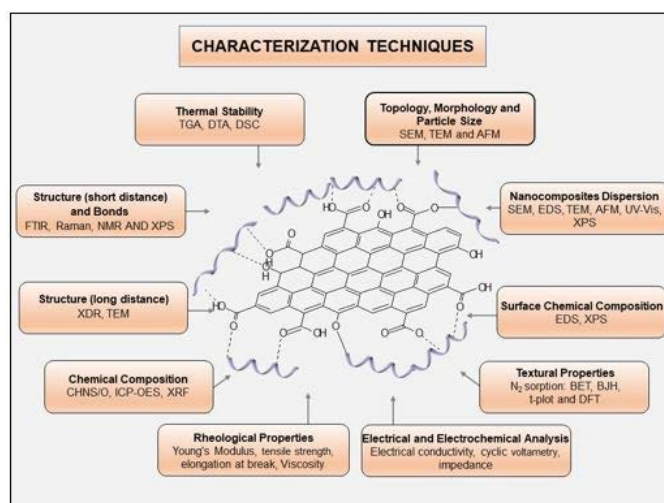
Graphene oxide (GO) is basically composed of hydroxyl and epoxy groups attached to graphene sheets, which give it an amphiphilic character, with its edges predominantly hydrophilic and its basal plane predominantly hydrophobic, dispersing in water.^{6,7,8,1} GO is chemically similar to oxidized graphite, consisting of graphene structures composed of a layer of functionalized graphene with epoxy, hydroxyl, carboxylic, and carbonyl groups.⁵ It is generally prepared by the oxidation of graphite flakes, giving GO hydrophilicity, dispersibility, and compatibility with various polymeric matrices such as chitosan.⁹ biocompatibility, small size, large surface area, and its ability to interact with biological cells and tissues. GO is a two-dimensional material of exceptional strength, unique optical, physical, mechanical, and electronic properties. Ease of functionalization and high antibacterial activity are two major properties identified with GO. Due to its excellent aqueous processability, amphiphilicity, surface functionalization capability, surface enhanced Raman scattering (SERS,¹ The properties of GO are associated with the nature of the functional groups and morphology of the obtained oxide. These characteristics depend on the starting graphite and reaction conditions, such as oxidation time, temperature, and oxidizing

agents, which strongly influence the reactivity of these materials in the production of nanocomposites with chitosan, for example.¹⁰ Chitosan is a polysaccharide composed of the monomeric units 2-acetamido-2-deoxy-D-glucopyranose and 2-amino-2-deoxy-D-glucopyranose and is generally obtained by deacetylation of chitin, one of the most abundant biopolymers found on Earth.^{11,12} Contains more than 5000 units of glucosamine, which is commercially obtained from the shells of crabs and shrimp. It is a biocompatible, biodegradable, and nontoxic natural polymer with a wide range of applications.¹³

The GO prepared with chitosan (CS-GO) results in a nanocomposite with improved and interesting properties for biomedical, pharmaceutical, food packaging, and other sectors. These nanomaterials have several applications and a lower environmental impact compared to the use of nanocomposites with matrices derived from petroleum.¹⁴ GO is a two-dimensional material with exceptional strength, excellent optical, physical, mechanical, and electronic properties, as well as ease of functionalization and high antibacterial activity.⁹ biocompatibility, small size, large surface area, and its ability to interact with biological cells and tissues. GO is a two-dimensional material of exceptional strength, unique optical, physical, mechanical, and electronic properties. Ease of functionalization and high antibacterial activity are two major properties identified with GO. Due to its excellent aqueous processability, amphiphilicity, surface functionalization capability, surface enhanced Raman scattering (SERS) The functional groups of GO enable reactions with amino or hydroxyl groups forming amide or ester bonds, and therefore chitosan can be easily incorporated into the structure of GO.¹⁵⁻¹⁷

The field of nanotechnology has been expanding due to the development of nanomaterials with different structural, morphological, chemical, rheological, and electrical characteristics, which guarantee enormous versatility in their applications.¹¹⁻¹³ Different analytical techniques can be used to characterize graphene-based nanocomposites, including thermal analysis (TGA, DTG, and DSC), spectroscopy analysis (FTIR, RAMAN, NMR, XPS, UV-Vis), structural analysis (XRD, TEM), morphological analysis (TEM, SEM, AFM), textural analysis (N₂ Sorption for specific surface area, porosity, and pore size distribution), chemical analysis (CHNS/O, ICP-OES, FRX), microscopic analysis (SEM, TEM, AFM), rheological analysis, and others. Therefore, to understand the interactions between the nanocomposite and the polymeric matrix, it is necessary to analyze each component of the synthesized nanocomposites, i.e., nanomaterial, polymeric matrix, and polymeric nanocomposite characteristics.¹⁵⁻²²

Figure 1- Shows, in a summarized form, what can be observed and extracted from each sample according to the analytical technique used.

Figure 1 - A summary of Gr and GO-based composites characterization techniques.

TGA: Thermogravimetric Analysis; DTG: Derivative Thermogravimetry Analysis; DSC: Differential Scanning Calorimetry; SEM: Scanning Electron Microscopy; TEM: Transition Electron Microscopy; AFM: Atomic Force Microscopy; EDS: Energy Dispersive Spectroscopy; UV-Vis: Ultraviolet-Visible Spectroscopy; XPS: X-ray Photoelectron Spectroscopy; BET: Brunauer, Emmett e Taller Method; BJH: Barrett, Joyner and Halenda Method; t-plot: t-plot Method; DFT: Density Functional Theory Methods; CHNS/O: Carbon, Hydrogen, Nitrogen, Sulfur, Oxygen Elemental Analysis; ICP-OES: Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry; XRF: X-Ray Fluorescence; ICP-OES: Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry; XDR: X-Ray Diffractions; FTIR: Fourier-Transform Infrared Spectroscopy; RAMAN: Raman Spectroscopy; NMR: Nuclear Magnetic Resonance.

This chapter aims to explore the characterization of polymeric nanocomposites and their precursors, including nanomaterials and polymeric matrices, based on the considerations. The chitosan-graphene oxide (CS-GO) nanocomposite will be used as an illustrative example of the characterization techniques discussed. However, it is important to note that the techniques presented in this review can be applied to the characterization of all types of polymeric nanocomposites. Specifically, the subject-matter will focus on the analytical techniques commonly employed to characterize graphene-based nanocomposites, with a narrower scope on GO-CS.

CHARACTERIZATIONS OF GRAPHENE-BASED NANOCOMPOSITES

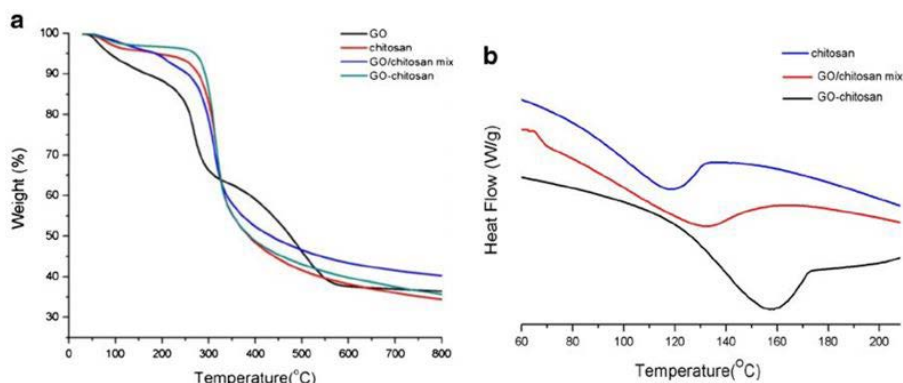
This section will mainly address the analytical techniques used to characterize the GO-CS polymeric nanocomposites and their precursors, including the nanomaterial and polymeric matrix.

Thermal Analysis (TGA, DTA, DSC)

The thermogravimetric analysis (TGA) consists of heating a specific sample (in an oxidative or inert atmosphere) and thus creating a curve in which the mass amount (wt.%, thermogram y-axis) is plotted versus temperature (x-axis). The sample is placed in a crucible (usually platinum or alumina) and is heated from 25 °C to the desired temperature (usually between 600-1000 °C) with a predetermined heating ramp (usually 5 or 10 °C per min).^{20,23,24}

Figure 2 shows GO and GO-CS nanocomposites TGA curves reported by Xia and Zhang studies as examples of this characterization technique.²⁰

Figure 2 - Thermal properties of the composites. (a) TGA curves of GO, chitosan, GO/chitosan mix and GO-chitosan, (b) DSC curves to determine the Tg of chitosan, GO/chitosan mix and GO-chitosan. Copyright © 2013, Zuo, Xia, Zhang et al. 20; licensee Chemistry Central Ltd.



GO is thermally stable at temperatures below 100 °C;^{20,25} however, it can present a slight weight loss, referring to H₂O adsorbed on its surface, Figure 2(a).^{20,23,25} Between 165-600 °C, a large weight loss occurs, attributed to the elimination of the GO oxygenated functional groups. At the interval between 165-250 °C, the less stable oxygenated functional groups in the GO structure are decomposed. Around 300-600 °C, there is a decomposition of the more stable functional groups in the GO structure. In addition, in both cases, water, CO, and CO₂ are released during the GO decomposition.^{20,23,25}

In the chitosan (CS - polymeric matrix) thermogravimetric analysis, the first weight loss occurs around 100 °C due to the release of water molecules adsorbed in the CS surface. Another mass loss occurs between 170-270 °C due to CS decomposition by thermal depolymerization and elimination of the chitosan glycosidic units.^{15,20,24}

The TGA curve of the CS-GO nanocomposite is like pure chitosan. In nanocomposites with applications for food packaging is added only a small amount of GO and what predominates in nanocomposite TGA curve is the polymeric matrix. However, higher thermal stability in the CS-GO nanocomposite was noticed compared to pure CS. The first weight loss occurs between 300-350 °C due to the chitosan decomposition. This weight loss at this temperature range is significant since it gives the amount of CS deposited on the GO surface.^{15,20,24}

In addition, the derivative of the TGA curves (DTA) furnishes more exact temperatures for each weight loss event observed to GO, CS, and GO-CS composite. Also, the DTA curves indicate whether the sample decomposition processes are endothermic or exothermic. These thermochemical events can also be observed by differential scanning calorimetry (DSC) analyses and providing information on the amount of heat involved in each event.^{15,20,24}

Through the DSC analysis, Figure 2(b), the transition phases (T_c, T_m, and T_g) of the polymeric matrix can be determined, as well the thermal stability of the nanocomposite is observed. The glass transition (T_g) is the most used for chitosan (CS).^{15,20} The T_g values of chitosan can vary widely. Because it will depend on crystallinity, degree of deacetylation, source of the starting material, chitosan extraction method, amount of water in the matrix, and molecular weight. For this reason, before analyzing the nanocomposite, it is essential to study the polymeric matrix so that the DSC data can be compared with the polymeric matrix.¹⁵ Generally, both T_g and thermal stability of the nanocomposite is increased with the GO addition when compared to the pure polymer matrix (CS).^{15,20,24}

In the Xia and Zhang (2003) research, the polymeric matrix (CS) Tg found was between 118-119 °C; 132 °C to CS and GO physical mixture; and 158 °C for the CS-GO nanocomposite. In this sense, the thermal stability and the polymer chain mobility of the CS-GO composite are influenced by the increase of the glass transition temperature (Tg). It is suggested that the increase in thermal stability and Tg occurred due to the high dispersion of GO particles in the chitosan matrix. The bonds formed between the GO and CS in the CS-GO may have inhibited the molecules' free movement. The same phenomena have occurred for the GO and CS physical mixing.²⁰

Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)

The Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy can be called the “fingerprint” of a compound. This analysis consists of the interaction between a sample with the infrared radiation ranging from 4000-400 cm⁻¹ (near-infrared radiation, NIR). The sample absorbs part of the radiation. In contrast, the other part is transmitted to the detector generating a particular intensity for each wavenumber scanned, forming a spectrum of the sample.^{15-17,21,24,26}

The FTIR technique is useful to access the interactions between the bonds/vibrations of the precursors (CS and GO) and the final synthesized nanocomposite (CS-GO) In that way, FTIR is used in the literature to corroborate the formation of a certain nanocomposite.^{15-18,20,21,23,25-27}

Advincula’s group (2017)¹⁵ presented a complete assignment for each band found in the FTIR spectra of GO-CS nanocomposite. Figure 3 illustrates the FTIR spectra for GO, CS, and CS-GO; Table 1 shows the assignment of each band observed in FTIR data.

Figure 3 - FTIR of GO, CS-GO and CS nanocomposite. (Reprinted with permission from Ref. 15. Copyright with license number: 5063810110657.)

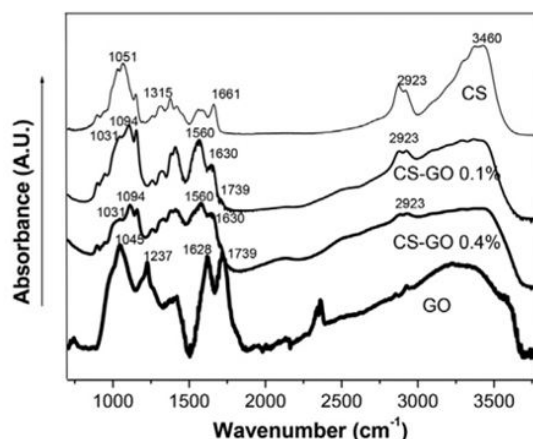


Table 1 - Common infrared bands for GO, CS, and CS-GO and their assignment.

Bands Wavenumbers (cm ⁻¹)			Bonds assignment
GO ^{ref}	CS ^{ref}	CS-GO ^{ref}	
-	1010 ²⁸	-	Secondary alcoholic group of C3-OH bond
-	1029 ²⁰	1038 ²⁰	An absorbance of the glucoside bond, stretching vibration C = O of -NHCO-
-	-	-	
-	-	1031 ²⁹	C-O stretching vibration
1045 ²⁹	-	1060 ²⁸	Stretching vibration of C-O-C bonds epoxy or alkoxy group (GO) indicates C-O-C stretching from the graphene oxide layers in CS-GO.
1035 ²⁰	-	-	
1063 ²⁸	-	-	
1086 ²⁶	-	-	
		1094 ²⁹	C-O stretching vibration
-	1051 ²⁹	-	Glycosidic stretching vibrations C-O bond in C-OH, C-O-C, and CH2OH.
-	1072 ²⁶	-	

-	1160 ²⁸	-	Primary alcoholic group of C6-OH bond
-	1121 ²⁶	-	
1237 ²⁹	-	-	C-OH bonds (GO)
1225 ²⁰	-	-	
1398 ²⁸	-	-	
1317 ²⁶	-	-	
-	1315 ²⁹	-	C-H bonds stretching vibrations of the methyl and methylene groups
-	1376 ²⁹	-	C-H bonds stretching vibrations of the methyl and methylene groups
-	-	1404 ²⁹	Stretching vibration of C-O of carboxylic acid group, characteristic band to the GO presence the CS-GO films
-	-	1451 ²⁶	Stretching vibration bonds of carboxylate groups (-O-C=O)
-	1593 ²⁰	1594 ²⁰	An absorbance of the glucoside bond, stretching vibration N-H bending of NH ₂
-	1570 ²⁹	1560 ²⁹	Stretching vibrations of the carbonyl group (C=O) and the vibrations of the protonated amino groups (CS); CS amino groups. However, it suffered a small shift due to amide formation between the CS free amine groups and the GO epoxy groups (CS-GO) 29.
-	1559 ²⁶	1564 ²⁹	
-	-	1552 ²⁶	
1628 ²⁹	-	-	C=C bonds associated with skeletal vibrations of unoxidized graphite domains (GO), C sp ²
1623 ²⁰	-	-	
1620 ²⁸	-	-	
1645 ²⁶	-	-	
-	1648 ²⁸	-	carbonyl stretching vibration of acetylated bonds of amino group.
-	1661 ²⁹	1630 ²⁹	Stretching vibrations of the carbonyl group (C=O) amide CONHR (secondary amide) (CS); stretching vibration of C=O of the amide group.
-	1647 ²⁶	1665 ²⁶	
1718 ²⁸	-	-	C-O bonds of carboxylic acid group
1739 ²⁹	-	-	C = O in carboxylic acid and portions of the carbonyl group (GO); C=O in carboxylic acid and carbonyl moieties in GO (CS-GOmix)
1739 ²⁰	-	-	
1737 ²⁶	-	-	
-	2882 ²⁹	2860 ²⁹	Stretching vibrations of the C-H bonds in CH ₃ and CH ₂
3000	2923 ²⁹	-	C-H stretch bonds of GO; Stretching vibrations of the C-H bonds in CH ₃ and CH ₂ (CS), asymmetric stretching vibrations of aliphatic C-H
-	2925 ²⁶	-	
-	2927 ²⁶	-	
-	3300 ²⁹	3300 ²⁹	Stretching vibrations of O-H bonds overlapping with the bands of NH ₂ - groups due to the vibration of N-H bond stretching
-	3367 ²⁶	-	
-	3460 ²⁹	3400 ²⁸	Stretching vibrations of O-H bonds overlapping with the bands of NH ₂ - groups due to the vibration of N-H bond stretching
-	3400 ²⁸	-	
3368 ²⁸	-	3372 ²⁶	-OH bonds
3372 ²⁶	-	3399 ²⁶	

The study¹⁵ concluded that the bands referring to the N-H bonds of the nanocomposite amide group were very similar to the amide bonds group referring to chitosan. However, the changes in the intensities and broadening of the bands present in 1630 cm⁻¹ and 3300 cm⁻¹ of CS compared to the CS-GO nanocomposite suggest that the synthesis was successful.¹⁵

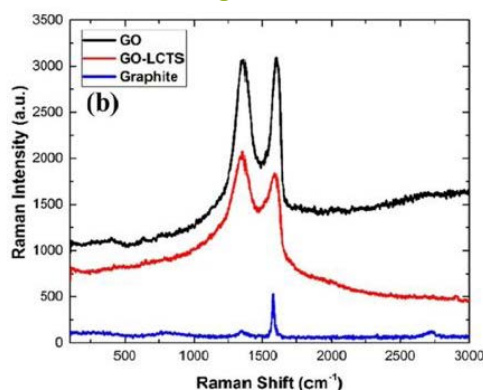
FTIR spectroscopy is unable to detect some bands referring to some bond vibrations. Fortunately, these bands are detected by Raman spectroscopy, which can complement the outline information obtained in FTIR analyzes.^{20,25,27}

Raman Spectroscopy

Raman spectroscopy is also widely used to characterize graphene-based nanomaterials and nanocomposites. This technique is based on monochromatic light's inelastic scattering, generating a fingerprint of the analyzed material. The bonds' vibration between the atoms of molecules can be identified. Raman spectroscopy can be used for quantitative and qualitative analysis; it is also a technique indicated for (nano)composites characterization with two or more components, as is the case of polymeric nanocomposites (nanomaterial + polymeric matrix). The Raman technique consists of submitting a sample to the laser, where the emitted laser's photons are excited. After that, relaxation occurs, bringing a change in frequency (Stokes or Anti-Stokes) compared to the wavelength during excitation. This difference is measured, and a signal at the detector is generated for spectrum formation.^{23,25,27}

Figure 4 shows the Raman spectra for graphite, GO, and polymeric nanocomposite (GO-LCT, LCTS=low molecular weight chitosan).²⁵

Figure 4 - Raman spectra of the precursors and GO (black), graphite (blue), and GO-LCTS (red). Copyright © 2018. Sabzevari (2018) 25. To readers: that further permissions related to the material excerpted should be directed to the ACS. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.8b01871>.



Generally, in the GO Raman spectrum, two characteristic bands of these materials are observed:

D Band: A_{1g} symmetry, located at 1350 cm^{-1} ,²⁵ assigned to oxygenated groups in the basal plane of the GO structure,²⁵ and consequently, to the sp^3 hybridization C of the GO leaves.²³ Other authors have verified these bands at 1360 cm^{-1} and 1353 cm^{-1} .^{23,27}

G Band: E_{2g} symmetry, with high intensity located at $\approx 1580\text{ cm}^{-1}$,²⁵ attributed to sp^2 hybridization C of the GO leaves of partially disordered structure.²⁵ Other authors have verified these bands at 1610 cm^{-1} and 1598 cm^{-1} .^{23,27}

The graphite Raman spectrum (precursor to GO, Figure 4) showed a low-intensity G band in $\approx 1560\text{ cm}^{-1}$ due to the high crystallinity of the graphite structure compared to the GO structure.^{25,27} In the GO spectrum, the G band moves to a higher wavenumber (1580 cm^{-1}) due to the high level of oxidation and connections compared to the graphite spectrum.^{25,27}

In the LCTS-GO Raman spectrum, Figure 4, bands D and G were displaced from 1350 to $\approx 1345\text{ cm}^{-1}$ and from 1580 to $\approx 1575\text{ cm}^{-1}$, respectively.²⁵ The nanocomposite formation resulted in a higher D/G band ratio intensity from 0.98 (GO) to 1.26 (GO-LCTS); due to the appearance of defects in the GO structure, the D/G ratio intensity increase suggests the good insertion of chitosan by the GO layers.²⁵ The D/G band ratio intensity is used to measure the disorder degree

graphene-based nanomaterials and nanocomposites structure, being inversely proportional to the sp^2 hybridization carbon clusters.²⁷

Another Raman study worth mentioning was carried out by Basso's group (2019)¹⁶ and allowed to observe the efficiency of the thermal reduction process from GO to rGO. In this sense, it was noticed a significant shift in the G and D bands of the GO (1600 and 1360 cm^{-1} , respectively) to 1500 and ≈ 1000 cm^{-1} with the rGO formation; these bands refer to the graphitic structure and local defects/disorders, respectively. G and D bands of rGO showed higher intensities suggesting a structural disorder.¹⁶

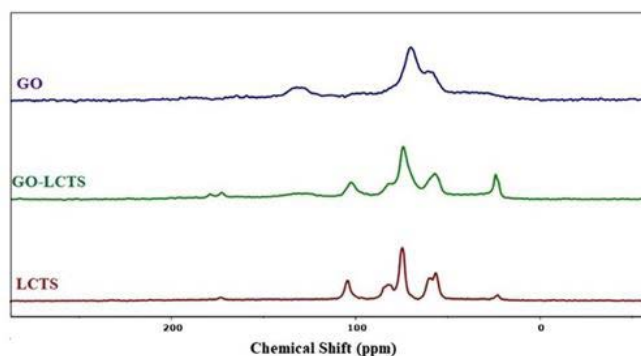
Another example of a spectroscopic technique that can be used to complement the graphene-based nanocomposite characterization is the ^{13}C Solid Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy (^{13}C NMR), which will be approached in the next section.

^{13}C Solid Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy (^{13}C NMR)

The solid ^{13}C NMR is a non-destructive spectroscopy method providing detailed information about chemical, structural, dynamic, and topological characteristics within a sample. When an isotope with a magnetic core (^{13}C with $\frac{1}{2}$ nuclear spin) interacts with the applied external magnetic field, the two spin states' degeneration is high. This energy difference is directly proportional to the magnetic field's strength that corresponds to the radio frequencies of the electromagnetic spectrum. Each nucleus re-emits radiation at its resonant frequencies creating an interference pattern called free induction decay. A Fourier transform can extract the information related to the chemical medium of the nuclei of a sample. The chemical medium for different nuclei of a sample will have different local magnetic fields, resulting in different chemical shifts by which the entire NMR spectrum is analyzed. Generally, an accurate chemical structure can be determined.^{25,27,30,31}

As an example of this technique for GO-CS nanocomposites characterization, the studies conducted by Sabzevari (2018) and co-workers were used.²⁵ Figure 5.

Figure 5 - Normalized ^{13}C solid NMR spectra of GO and GO-based cross-linked composites. Copyright © 2018. Sabzevari (2018) 25. To readers: that further permissions related to the material excerpted should be directed to the ACS. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.8b01871>.



The spectrum signals referring to GO are located at 60 ppm (C linked to epoxide group), 70 ppm (C linked to the hydroxyl group), and 130 ppm (C in graphene).^{25,30}

On the other hand, the low molecular weight chitosan (LCTS) spectrum shows signals related to the glucosamine carbon (30 ppm). The signals close to 100 ppm were related to the carbons of the acetylated form of the co-monomers from the LCTS structure. Also, it is observed at 180 ppm, the signals from the carbons of the LCTS acetyl/amide groups are displayed.^{25,30}

Consequently, the ^{13}C NMR spectrum from the synthesized GO-LCTS nanocomposite showed broadening and displacement of the signals related to the carbons linked to the hydroxyl group (≈ 70 ppm) of GO and LCTS. The signals located at 30 ppm were attributed to the glucosamine carbon. In comparison, the signals close to 100 ppm were attributed to the acetylated form carbons of the co-monomers referring to the LCTS structure. The signals that appear between 20-80 ppm refer to the carbons of the alkyl and alkenyl groups of the GO. To conclude the reading of the solid ^{13}C NMR spectrum, two signals appear at 170 and 180 ppm, are assigned to the GO carbonyl group and the acetyl/amide groups carbons of the LCTS, respectively. The results obtained reinforce that the formation of the GO-LCTS nanocomposite was efficient.^{25,27,30,31}

X-Ray Photoelectron Spectroscopy (XPS)

X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) is another spectroscopic technique that complements the data observed by FTIR, Raman, and NMR characterizations. Furthermore, it is one of the most important techniques for surface and interface study. It can elucidate the chemical composition, the atomic concentration according to the depth of the sample, the oxidation state of the components, and the nanomaterial dispersion in the polymeric matrix. This analysis consists of irradiating X-ray photons (emitted by electronic energy classification) on the sample surface under vacuum ($P < 1.32 \times 10^{-12}$ atm), which are excited by an X-ray beam with Mg or Al anodes. For this reason, the sample should have low energy of electrons or ions. Otherwise, particles that leave the surface do not arrive at the detector.^{18,20-22,24}

The XPS analysis provides essential information for exploring the interactions between the polymeric matrix and the nanomaterial for the polymeric nanocomposite generation. In this way the Figure 6 shows the XPS N1s core-level spectra presented by Xia & Zhang (2013).²⁰

Figure 6 - XPS N 1s core-level spectra of (a) GO, (b) chitosan, (c) GO-chitosan and (d) GO/chitosan mix. The peaks 1, 2 and 3 correspond to C-NH₂, C-NH-C=O, C-N⁺, respectively. Copyright © 2013, Zuo, Xia, Zhang et al. 20; licensee Chemistry Central Ltd.

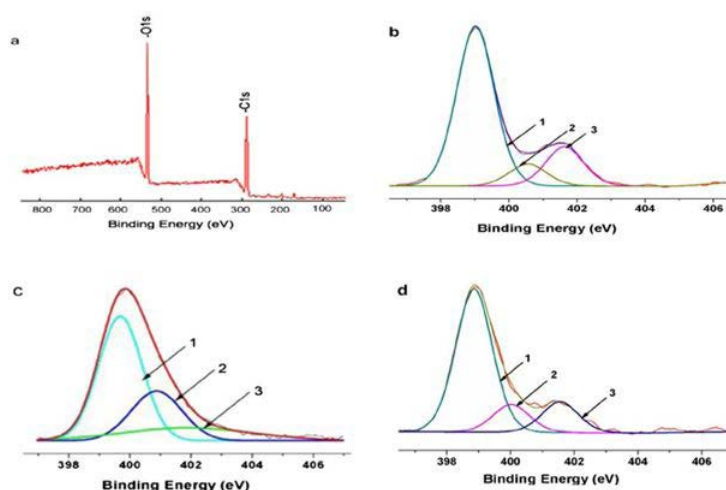


Figure 6(a) shows two bands in the survey spectrum of the GO sample, presenting peaks related to the C1s and O1s from the graphene oxide structure. The XPS spectrum N1s of pure chitosan is shown in Figure 6(b), presented three peaks at 399.0, 400.5, and 401.6 eV referring to the chitosan structure bonds C-NH₂, C-NHC=O, and C-N⁺, respectively.²⁰

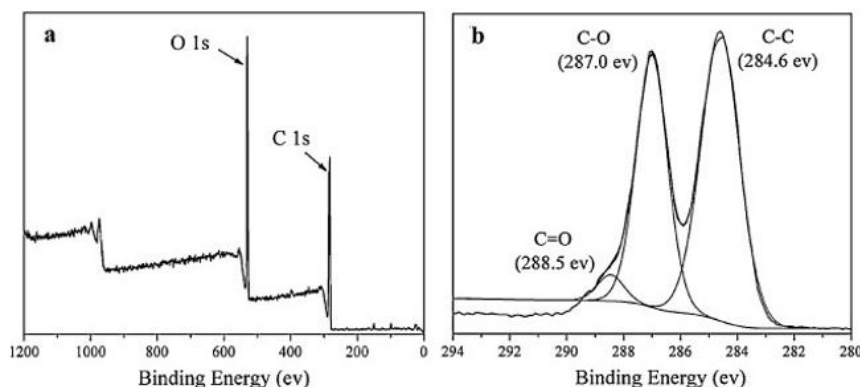
The XPS N1s spectrum of GO-chitosan, Figure 6(c), after its deconvolution, showed three peaks in 399.4, 400.7, and 401.7 eV referring to the amine, amide groups, and the protonated

amine species, respectively. Figure 6(d) presents the XPS N1s spectrum of the GO-Chitosan (physical mixture) when compared to the XPS N1s spectrum of GO-Chitosan, Figure 6(c) shows the decrease of the amide group band and the increase of protonated amine band, indicating few covalent bonds formed during physical mixture. These findings suggest covalent bond formation between the carboxyl groups with the chitosan amine groups to produce the nanocomposite GO-chitosan, Figure 6(c).²⁰

The Li and Shang's group (2010)¹⁸ found results for CS-GO similar to those reported by Xia and Zhang's group (2013),²⁰ the XPS N1s spectrum of GO-chitosan exhibited three components in 399.4, 400.5 e 401.7 eV referring to the amine, amide groups, and the protonated amine species, respectively.¹⁸ They also suggest that the nanocomposite formation occurs through the electrostatic interaction between the negative charges on the GO surface and the positive charge of the chitosan amine species.¹⁸

Figure 7 showed the XPS survey scan (a) and C1s core-level spectra(b) presented by Li (2011).²²

Figure 7 - (a) XPS survey scan spectrum and (b) deconvoluted XPS C1s spectra of GO. (Reprinted with permission from Ref. 22. Copyright with license number: 5063820901920.)

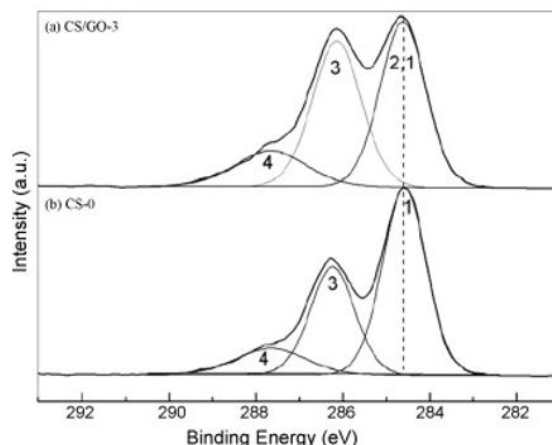


Firstly, in this study, the graphite and graphene oxide atomic ratio C:O was studied to measure the GO functionalization degree due to graphite oxidation reaction. They obtained atomic ratios C:O of 99 and 2.5 for graphite and GO, respectively.²²

The XPS survey spectrum of GO, Figure 7(a) shows two peaks that refer to binding energies of C1s and O1s from the graphene oxide structure. XPS C1s core-level spectrum of GO, Figure 7(b) was deconvoluted into three components. Attributed to C atoms with substantial oxidation degrees, forming different functional groups: C-C, C-O, and C=O with binding energies of 284.6, 287.0, and 288.5 eV, respectively.²²

Yan's group (2011)²¹ showed the CS-GO-3% and CS XPS C 1s spectra, Figure 8.

Figure 8 - C1s XPS spectra of CS-GO-3 (a) and (b) chitosan (CS-0) films. (Reprinted with permission from Ref. ²¹. Copyright with license number: 5063831243523.)



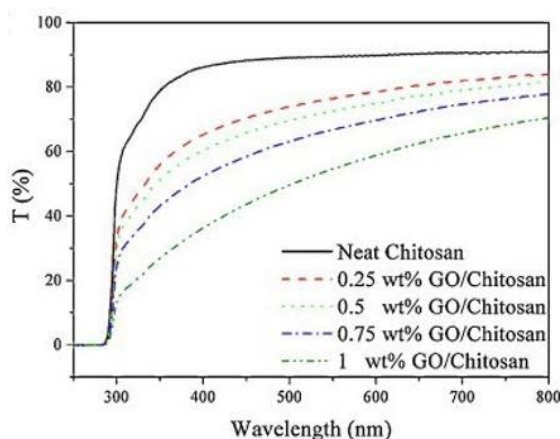
The XPS C1s spectrum of CS-GO3%, Figure 8(a) was deconvoluted into four components. Attributed to different functional groups C=C (sp^2): 284.7 eV; C-C (sp^3): 284.8 eV; C-O: 286.9 eV, and C=O: 287.9 eV. In the chitosan spectrum (Fig. 19b) was observed three components after band deconvolution at 284.7 eV to C=C (sp^2), at 286.9 eV to C-O, and at 287.9 eV to C=O. Compared to CS-GO3%, an increase in the C-O (287.9 eV) and C=O (287.9 eV) components was observed. The C-C component at 284.8 eV was also noticed. Both events suggest a higher interaction of the GO nanomaterial with the polymeric matrix CS.²¹

Ultraviolet-Visible Spectroscopy

The Ultraviolet-visible spectroscopy (UV-Vis) is a technique that uses radiation absorption in the ultraviolet (190-380 nm) and visible (380-780 nm) regions and can be used for nanomaterials and nanocomposites characterization. In this analytical technique, light absorption is directly related to valence electrons' change energy, from their fundamental state to higher energy states. The UV-Vis analysis allows the visualization of electronic excitement through the absorption bands displacement of the UV-vis spectrum. For nanocomposites, these displacements can be related to the bonds formed between the nanomaterial and the polymeric matrix.^{22,24}

The UV-Vis technique provides important information regarding the nanomaterial dispersion on the polymeric matrix. For example, the UV-Vis analysis carried out in Li's (2011)²² study is presented in the Figure 9.

Figure 9 - UV-vis spectra of neat chitosan and GO-Chitosan composite films. (Reprinted with permission from Ref. ²². Copyright with license number: 5063820901920.)

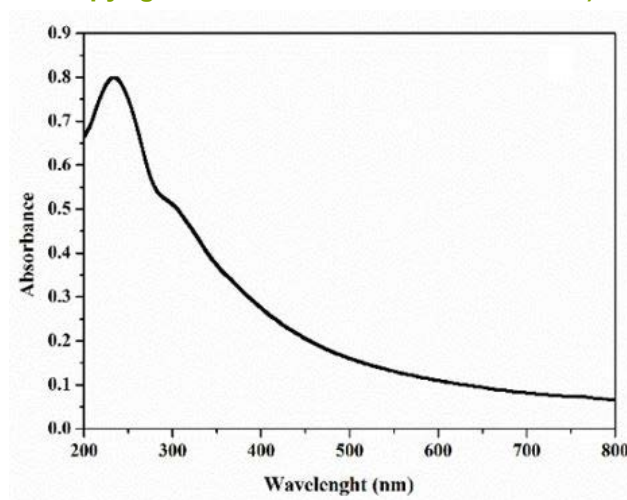


The UV-Vis spectra of the polymeric matrix (Neat Chitosan) and the nanocomposites

(GO-Chitosan; GO: 0.25, 0.50, 0.75, and 1 wt.%) were obtained by the solution-casting method, and the solutions were analyzed in the wavelength range of 280 to 800 nm. In Figure 9, the light transmission is affected by the increase in the GO amount in the nanocomposites (GO-Chitosan) formulation. In the neat chitosan spectrum, the light transmission at 800 nm was 91%, decreasing to 70% compared to the nanocomposite GO1%-Chitosan. The authors noticed that this decrease was linear with the chitosan amount, suggesting a GO uniform dispersion in the matrix chitosan. Also, it is worthy of mentioning that this homogeneous dispersion caused a significant improvement in the mechanical properties of synthesized nanocomposites.²²

Furthermore, UV-Vis is also a handful technique to observe electronic transitions for the GO formation from graphite. Fernandez (2017)²⁷ showed a GO UV-Vis spectrum (Figure 10) to confirm nanomaterial formation, where the GO was dispersed in water and analyzed.²⁷

Figure 10 - UV-vis absorption spectrum of GO. (Reprinted with permission from Ref. ²⁷. Copyright with license Id: 5066651497622.)



The spectrum shows a band at 233 nm attributed to $\pi \rightarrow \pi^*$ transition of the aromatic C sp^2 . In addition, the band at 300 nm was attributed to $n \rightarrow \pi^*$ transition of the C=O bonds (carbonyl, carboxyl, epoxide groups), suggesting that the GO was obtained by the graphite oxidation reaction.²⁷

However, spectroscopic techniques provide nanomaterials structure at a short distance (molecular level). For a more detailed structure study of nanocomposites at long range and crystalline network, the X-Ray Diffraction (XRD) technique must be employed.

X-ray Diffraction (XRD)

The XRD technique can be used to identify simple to even more complex structures of crystalline and amorphous materials, providing information on the structural organization of these materials. It is a non-destructive technique based on the measurement of scattered X-ray intensity as a function of the angle between the incident and scattered radiation, wavelength, or energy expressed according to Bragg's Law (Equation 1).^{16,24,25,32,33}

a) Bragg's Law

$$n\lambda = 2d_{hkl} \sin(\theta) \quad (\text{Equation 1})$$

Where:

n = reflection order (integer number), usually = 1;

λ = electromagnetic radiation wavelength (cm^{-1});

d_{hkl} = distance between the lamellae material or basal spacing in diffraction plane (hkl);

θ = diffraction angle.

The X-rays can interact elastically with the electronic cloud of the atoms of a material and generating elastically diffracted waves of different atoms that will interfere constructively or destructively. In this way, generating in a diffraction pattern with intensities and positions directly related to the atomic distribution and the distances between the atoms of the material structure under analysis.^{24,26,34,35}

The XRD technique provides important information regarding nanomaterial (GO) structure, polymeric matrix (CS) structure, and formed nanocomposite (CS-GO) structure.^{16,23,25,26,34,35}

Furthermore, it can bring data on the efficiency of GO to rGO reduction observed by a shift in the 2θ to higher values¹⁶. In this context, when the displacement occurs to lower 2θ values, it indicates the efficiency of exfoliation.²⁵ In both cases, a decrease in the crystallinity degree is observed compared to a non-exfoliated GO sample.^{16,25}

Through Bragg's Law d_{001} (Equation 2), the distance between the GO leaves can be calculated. By the Scherrer equation, the GO crystallite size can be estimated (Equation 3), and the number of GO sheets stacked can be assessed through the (Equation 4).^{16,32-36}

b) Bragg's Law d_{001}

$$d_{001} = \frac{\lambda}{2 \text{sen} \theta_{001}} \quad \text{(Equation 2)}$$

Where:^{32,33}

λ = electromagnetic radiation wavelength (cm^{-1});

d_{001} = distance between the lamellae material or basal spacing in diffraction plane (001), the result is generated in angstroms (Å) but the most usual is to convert it to nanometers (nm);

θ_{001} = diffraction angle and 001 diffraction plane.

c) Scherrer's Equation:

$$L_{001} = \frac{K \lambda}{\beta \cos(\theta)} \quad \text{(Equation 3)}$$

Where:^{32,33}

L_{001} = average crystallite size in diffraction plane (001), the result is generated in angstroms (Å), but the most usual is to convert it to nanometers (nm);

K = constant that will depend on the particle shape. Assumes 0.94 or 0.89 values as the shape factor (there are many discussions about which K value is the most correct to be used for an estimate of the crystallite size, but as it is only an estimate, the researcher can decide which K value will use for each case);^{32,33}

λ = electromagnetic radiation wavelength;

$\beta(2\theta)$ = width at half the height (FWHM) of the diffraction peak.

d) The number of GO sheets stacked:

$$L_{001} = (N - 1)d_{001} \quad (\text{Equation 4})$$

Where:^{32,33}

N = Number of GO sheets stacked;

L_{001} = average crystallite size (Å), in diffraction plane (001);

d_{001} = distance between the material lamellae or basal spacing (Å), in diffraction plane (001).

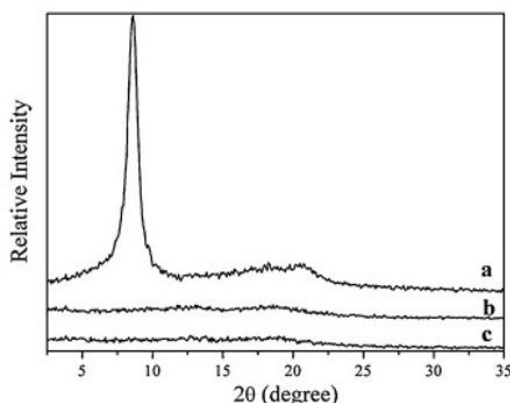
The GO XRD analyzes show a characteristic diffraction peak in the plane (hkl=001) that might vary between $2\theta=10.5$ to 12.5° .^{16,23,25,26,35} In the Basso's (2019)¹⁶ study, the peak at $2\theta = 11.0^\circ$ dislocated to $2\theta = 24.0^\circ$, when the graphene oxide (GO) underwent thermal reduction at 1000°C for 30 s, forming the reduced graphene oxide (rGO).¹⁶ Also, was estimated the interlayer distances (d_{002}) values for GO (74 nm) and rGO (0.36 nm) and using Bragg's Law (hkl = 001). In addition, with Equation 2 and with Scherrer's equation (hkl = 001) was estimated crystallite size of GO (8 nm) and rGO (3 nm), using diffraction data for the hkl = 001 plane.¹⁶ In comparison, the GO synthesized by Sabzevari (2018)²⁵ and Kamari (2020)²⁶ groups presented spacing between GO sheets of 7.91 nm and 0.72 nm, respectively.^{25,26}

The number of GO and rGO stacked sheets were also calculated by Belange and Basso's group (2017-2019)^{16,34} through Equation 4, and as a result, they found 10 and 8 sheet stacked sheets, respectively.¹⁶ The thermal reduction from GO to rGO decreases the distance between the sheets of the material. There is a partial elimination of the oxygenated functional groups at the basal plane and GO's edges. There is also a decrease in the crystallites' size and the number of leaves in the rGO formed structure. Besides, these decreases in the crystallite size and the sheets stacked number also suggest that there was an effective exfoliation process.¹⁶

The chitosan structure can be crystalline or amorphous, and in this sense, in the Li (2011)²¹ study, no peak was observed in the chitosan diffractogram. However, in the Jiang's (2016)²³ and Sabzevari's studies (2018),²⁵ was observed the absence of peaks evidenced by a baseline increase as a halo located at $2\theta=20,1^\circ$ ²³ and $22,5^\circ$ ²⁵, respectively, indicating the amorphous chitosan structure. On the other hand, in the study disclosed by Kamari's (2020)²⁴ group with crystalline chitosan, was observed the CS characteristic diffraction peaks $2\theta=10.8^\circ$, 16.5° , and 20.4° , in which the last peak presented the highest intensity. The Kumar and Sobral (2017)³⁵ group also worked with crystalline chitosan, and its main peak appeared in $2\theta=20.9^\circ$.³⁵

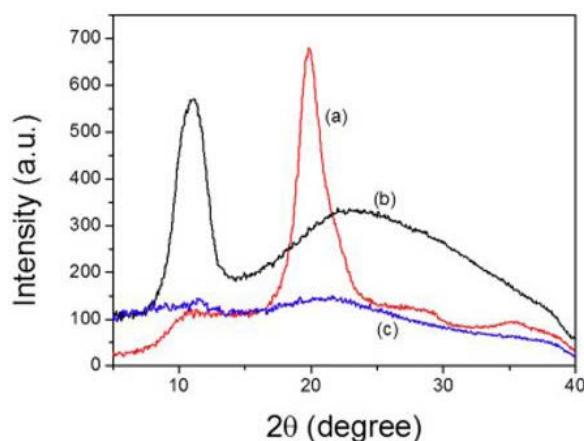
The XRD analysis of CS-GO (nanocomposite with GO 1 wt.%) reported by Li's group (2011),²² showed a pattern similar to the XRD analysis of pure chitosan, suggesting that GO sheets were well exfoliated and dispersed into the polymeric matrix (CS). In that manner, this nanocomposite showed significant improvements in the mechanical properties compared to the matrix (CS). The results also indicated that the chitosan structure was not affected and that the CS-GO nanocomposite showed an amorphous structure,²² Figure 11.

Figure 11 - XRD patterns of (a) neat GO, (b) 1 wt% GO-Chitosan nanocomposite, and (c) neat chitosan. (Reprinted with permission from Ref. ²². Copyright with license number: 5063820901920.)



The nanocomposite (CS-GO) synthesized by Kumar and Sobral (2017)³⁵ showed a GO peak dislocated from $2\theta=11.0^\circ$ to 11.3° , and another CS peak changing from $2\theta=20.9^\circ$ to 21.1° in the CS-GO diffractogram, suggesting that the GO introduction in biopolymer was achieved. However, there was a loss in the CS-GO crystallinity – becoming amorphous - when compared to the diffractogram precursors CS and GO, as shown in Figure 12.³⁵

Figure 12 - X-ray diffraction (XRD) patterns of (a) CS, (b) GO and (c) CSGO nanocomposite film. CS: chitosan; GO: graphene oxide; CSGO: chitosan/graphene oxide. (Reprinted with permission from Ref. ³⁵. Copyright with license number: 5063811443036)



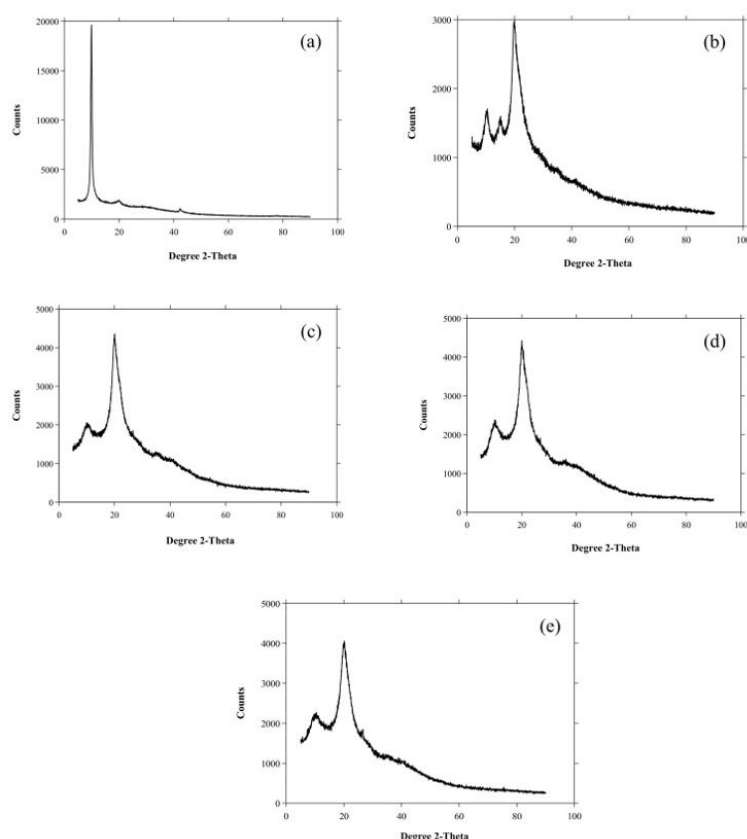
Sabzevari (2018)²⁵ observed a sharp displacement on GO peak to lower 2θ values, after the formation of the nanocomposite, from 12.2° (GO) to 10.2° (CS-GO, ratio 0.3:1 wt.%). This shift suggests that GO exfoliation occurred during the CS-GO synthesis and a spacing increase between the sheets from 0.72 nm (GO) to 0.87 nm, indicating that the CS was properly inserted between the GO sheets. Considering that the authors suggested that chitosan was strongly linked to the GO oxygenated groups, the synthesized nanocomposite showed a semi-crystalline structure.²⁵

The XRD technique indicated the amorphous structure formation for the CS-GO nanocomposite (ratio = 0.5:1) reported by Jiang's group (2019),²³ which can be seen by the halo located at $2\theta = 18.7^\circ$ and 23.2° . The authors suggested that GO and CS interactions were formed through intermolecular and intramolecular forces such as H bonds and peptide bonds. The GO when interacting with the CS presented a decrease in its crystallinity, which can be explained by the formation of intramolecular H bonds with the polymeric matrix (CS) and by the intermolecular H bonds of the matrix with the GO oxygenated functional groups, as the hydroxyl (-OH) and car-

boxyl (-COOH) groups.²³

On the other hand, Kamari's group (2020)²⁶ observed characteristic diffraction of peaks of CS ($2\theta = 16.5^\circ$ and 20.4°) were preserved in all CS-GO nanocomposites studied (GO: 1, 2 and 3 wt.%), Figure 13. Nevertheless, the authors reported the peaks' disappearance in all synthesized nanocomposites' diffractograms and suggested that a large part of the GO reacted with the chitosan matrix. The authors suggested that CS amine groups reacted with GO's carbonyl and epoxy groups, causing GO crystallinity reduction. Besides having an increase in the intensity of the diffraction peak at 20.4° , it was found that GO contributed to an increasing in the CS crystallinity in the CS-GO nanocomposites.²⁶

Figure 13 - XRD patterns of (a) GO, (b) CS, (c) CS-GO 1 wt.% (d) CS-GO 2 wt.% and (e) CS-GO 3 wt.%. (Reprinted with permission from Ref. ²⁶ Copyright with license number: 5063811153211.)



Elemental Analysis (CHNS/O)

CHNS/O analysis is a chemical analysis used to obtain information on the nanocomposite's composition and mass quantities of C, H, N, S, and O (wt.%). Generally, the mass amount of O (wt.%) is calculated by difference (Equation 5), having in hand the data on the C, H, N, and S (wt.%) quantities obtained by the CHNS analysis.

$$O\% = 100 - C\% - H\% - N\% - S\% \quad (\text{Equation 5})$$

Where:

O% = oxygen quantity in mass percentage (wt.%);

C% = carbon quantity in mass percentage (wt.%);

H% = hydrogen quantity in mass percentage (wt.%);

N% = nitrogen quantity in mass percentage (wt.%);

S% = sulfur quantity in mass percentage (wt.%).

As an example, the results of the CHN/O analysis obtained by Kamari's group (2020)²⁶ are shown in Table 2.

Table 2 - CHN/O analysis of GO, CS, and CS-GO nanocomposites. (Reprinted with permission from Ref. 26. Copyright with license number: 5066660744847.)

Samples	Weight (wt.%)*				Nanocomposite information*	
	C	H	N	O	Molecular Formula	Molecular Weight (g mol ⁻¹)
GO	72.14	1.65	-	26.21	(C ₁₃₈ H ₅₀ O ₂₁) _n	2,043.86
CS	45.65	7.66	7.60	39.09	(C ₇ H ₁₅ NO ₄) _n	117.20
CS-GO (1 wt.%)	66.59	5.99	4.53	22.89	(C ₁₅₄ H ₈₁ N ₃ O ₄₇) _n	2,725.28
CS-GO (2 wt.%)	68.23	2.52	4.66	24.59	(C ₂₈₇ H ₁₁₅ N ₃ O ₈₆) _n	4,980.95
CS-GO (3 wt.%)	70.45	1.69	1.56	26.30	(C ₄₁₈ H ₁₄₃ N ₃ O ₁₂₂) _n	7,158.55

The results in Table 2 showed that both the GO and the CS-GO nanocomposites follow approximately the same pattern of oxygenated groups in their structures, resulting in a similar polarity. The increase in the amount of oxygenated functional groups generates more reactive sites for future applications, both for physical and chemical interactions. The nanocomposite CS-GO (1 wt.%) has a higher H (wt.%) amount and a higher H:C = 0.08 ratio, suggesting a decrease in aliphatic properties concerning CS-GO (3 wt.%) = 0.02, CS-GO (2 wt.%) = 0.03 and GO = 0.02. The H:C aromatic carbons ratio is less than 1.50, and for aliphatic compounds, it remains between 1.50 and 2.00. The CS presented 0.18 of H:C ratio, suggesting that the GO insertion in its structure increased the nanocomposite aliphatic properties (CS-GO).²⁶

A decrease in the N (wt.%) content of the nanocomposites was also observed compared to the polymeric chitosan matrix (CS), which suggests that the GO carboxyl groups reacted with the CS amine groups forming amide groups.²⁶

Another interesting study regarding CHN/O analysis was disclosed by Basso's group (2019)¹⁶ to monitor the thermal reduction efficiency of GO to rGO, Table 3.¹⁶ The rGO oxygen amount from GO was decreased, indicating that the thermal reduction process was efficient.²⁶ During the GO thermal reduction, the oxygenated groups were eliminated as CO₂, CO, and water form.^{20,23,25}

Table 3 - GO and rGO C/O analysis results. Copyright © 2019, Basso (2019)¹⁶. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY).

Samples	Weight (wt.%)*	
	C	O
GO	70.30	28.70
rGO	89.70	10.30

Scanning Electron Microscopy (SEM)

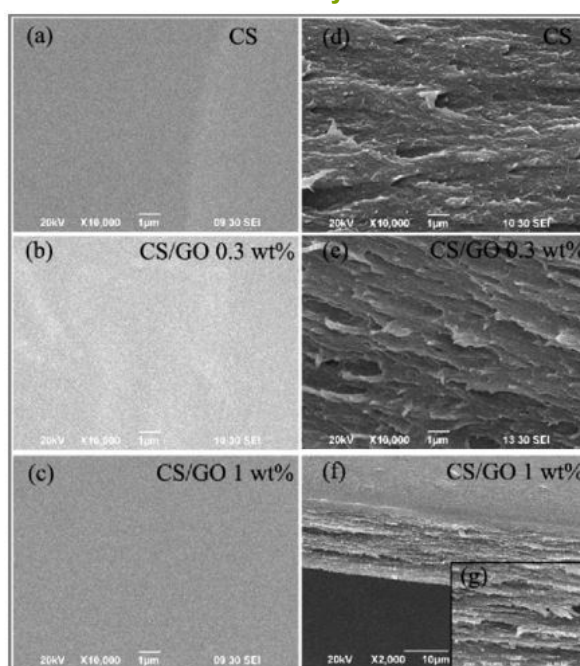
Scanning Electron Microscopy (SEM) is used to study nanomaterials morphology and topology. In this technique, a high-energy electron beam scans the material's surface, and scattered secondary electrons are detected to generate materials surface images and elucidate their morphological and topological characteristics, with high spatial resolution and field increase. SEM

technique operates at low acceleration voltages, reducing severe damage to the radiation sample. The sample electrical conductivity and your electrical grounding are essential for the material surface micrograph to have a good resolution. In insulating materials, it is necessary to coat the sample surface with a thin layer of some conductive material.^{16,18,24,26}

This technique can be used to evaluate the nanomaterial (GO), polymeric matrix (CS), and synthesized nanocomposite (CS-GO) morphologies, and thus furnishing information about their dispersion.¹⁸

As an example the Figure 14 shows the micrographs obtained by Li's group (2010),¹⁸ where the CS-GO nanocomposites morphologies were investigated and the GO amount was varied.

Figure 14 - SEM of CS and CS/GO nanocomposites images: (a) Chitosan, (b) CS-GO 0.3 wt.%, (c) CS-GO 1 wt.%. After fracture-surface, images: (d) Chitosan, (e) CS-GO 0.3 wt.%, (f) and (g) CS-GO 1 wt.%, (g) is the magnification of (f). Li (2010)¹⁸ Copyright © 2010, American Chemical Society.



Nanocomposite micrographs, CS-GO 0.3 wt.% (b) and CS-GO 1 wt.% (c), showed no significant differences. However, new micrographs were obtained after a tensile test, and the morphology of the nanocomposites, CS-GO 0.3 (e) and CS-GO 1 wt.% (f and g), were different compared to the polymeric matrix CS (d). This difference is due to the GO sheets that became more evident with the film rupture after the tensile test. The authors concluded that the electrostatic attraction and the H-bonds formed between GO oxygenated groups with the CS amino groups were effective. In that sense, this might suggest a morphological homogeneity of the nanocomposites observed in the micrographs CS-GO 0.3 (b), CS-GO 1 wt.% (c), and CS (a).¹⁸

Another study that should be mentioned is the morphological analysis carried out by the Basso's group (2019),¹⁶ aiming to observe the morphological changes that occurred after graphite oxidation to GO and after reducing GO to rGO (reduced graphene oxide), as shown in Figure 15.¹⁶

Figure 15 - SEM images of graphite (a), GO (b), and rGO (c). Copyright © 2019, Basso (2019)¹⁶. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY).

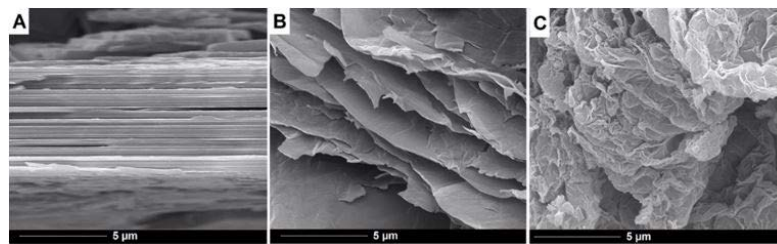


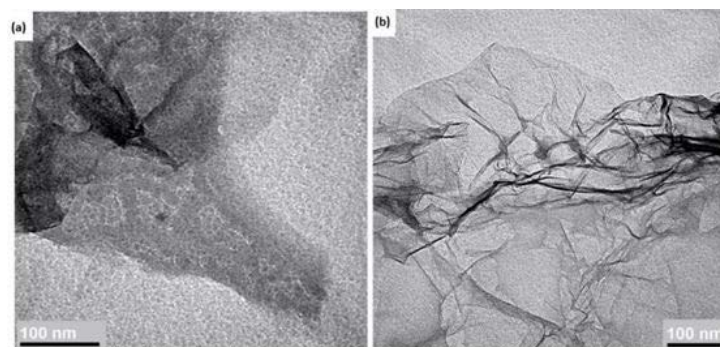
Figure 15 shows graphite (a), graphene oxide (b), and reduced graphene oxide (c) micrographs. The graphite micrograph showed a morphology comprised of compacted graphene sheets, which after being oxidized and exfoliated to GO (b), caused an increase in the spacing between the sheets. After reducing the GO to rGO, there was also a higher exfoliation of this nanomaterial, and the micrographs of the rGO (c) showed a rugous and porous morphology.¹⁶

Transmission Electron Microscopy

Transmission electron microscopy (TEM) provides a detailed image of the nanomaterials in the submicrometric region with a resolution of 0.2 nm. In this technique, a high-energy electron beam passes through a thin layer of the sample. An enlarged image is formed and projected onto a screen using a set of electromagnetic lenses. By this technique, it is possible to obtain information about the sample structure that often cannot be perceived by XDR analysis. Through the micrograph obtained by TEM can be also observed: individual properties of the (nano)material particles and their defects.^{16,24,35}

Figure 16 shows the GO and rGO TEM micrographs obtained by Basso's group (2019).¹⁶

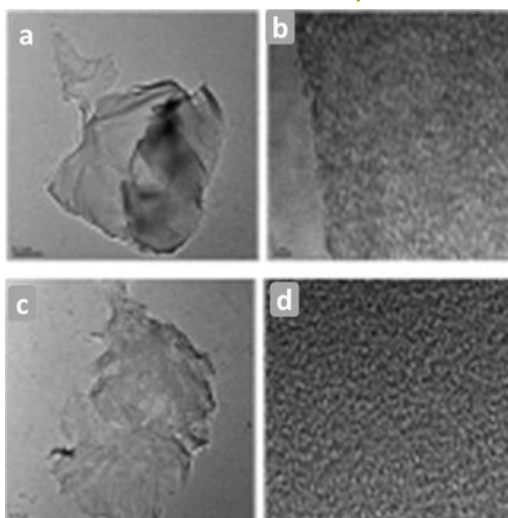
Figure 16 - TEM images of GO (a) and rGO (b). Copyright © 2019, Basso (2019)¹⁶. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY).



The authors suggested that a rugous morphology is characteristic of materials formed by nanosheets. However, rGO (Figure 16(b)) presented a TEM image comprised of more exfoliated and folded nanosheets compared to the one presented by pure GO,¹⁶ Figure 16(a).

Kumar and Sobral (2017)³⁵ presented the TEM micrographs of the GO and CS-GO nanocomposite obtained in their research work, as shown in Figure 17.³⁵

Figure 17 - High-resolution transmission electron microscope (HR-TEM) images of GO and (c and CS-GO nanocomposite. (a) and (b) GO: graphene oxide; (c) and (d) CSGO: chitosan/graphene oxide. (Reprinted with permission from Ref.³⁵. Copyright with license Id: 5063811443036.)



In Figure 17(a) and (b) Kumar and Sobral (2017)³⁵ observed the GO characteristic morphology formed by folds and wrinkles at the nanomaterial edges. In Figure 17(c) and (d) an interporous nanostructure is developed in the CS-GO nanocomposite. Also, these TEM micrographs presented folds and wrinkles in the nanocomposite morphologies. It was also noticed that the polymeric chitosan matrix uniformly coated the surface of the graphene sheets, Figure 17(d).³⁵

Atomic Force Microscopy

The Atomic Force Microscopy (AFM) analysis presents relevant information about the nanomaterial's surface topography, morphology, structure, and particle size.³⁷

In this section, only AFM analysis of GO will be presented. This analysis was showed by Fernandez's group (2017)²⁷ in the GO morphology investigation, Figure 18.²⁷

Figure 18 - (a) AFM image of GO sheets. (b) Histogram distribution of sheet lateral sizes. (c) Histogram distribution of sheet thickness. (Reprinted with permission from Ref.²⁷. Copyright with license Id: 5066650229990.)

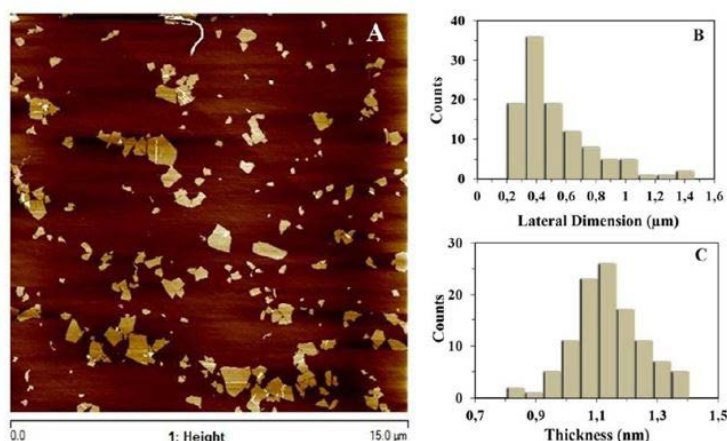


Figure 18 shows the micrograph of a graphite oxide sample after the sonication exfoliation process to obtain the GO nanosheets. The AFM image revealed that the lateral dimensions of the GO nanosheets varied between 0.2-1.4 μm and had an average thickness of 1.1 nm. This result showed that the exfoliation process was efficient and that this thickness range for GO nanosheets was as expected. Fernandez (2017)²⁷ noticed that 83% of these nanosheets were in

monolayer, being in the desired pattern to proceed with the polymeric nanocomposite synthesis.²⁷

Textural Analysis

The nanomaterials and nanocomposites' textural analysis exerts a pivotal role, as they bring information about the specific surface area, volume, and pore distribution of different material types. These measures involve both the external surfaces and the internal pores of the materials when it has porosity. The N₂ or Ar adsorption/desorption technique allows determining these properties. There are two different types of adsorptions (physical and chemical) depending on the type of sample nature and the adsorption forces involved between the gas and the sample under analysis. The correct methodology to be used when material porosity measuring will depend on its nature, size, and form of these pores.^{24,38,39}

To measure the specific surface area is used the Brunauer, Emmett, and Teller (B.E.T.) or density functional theory (DFT) methods.^{24,38-40} As for the pore size, the materials can be classified as microporous when their diameters are between 0.3-2 nm. Mesoporous with pore diameter between 2-50 nm and macroporous with a diameter higher than 50 nm. Micro and mesoporous materials can be determined by N₂ or Ar sorption. For measuring micropores, the t-plot method is the most suitable. And for the mesopores measurement are used the Barrett, Joyner, and Halenda (B.J.H.) method. The DFT method also can be used for porosities determination. For macroporous materials, Hg porosimetry is the most suitable analytical technique.^{24,38-40}

The most used textural analysis technique for nanomaterials, polymeric matrices, and nanocomposites is the N₂ adsorption/desorption isotherm, and the methods used to calculate the specific area are B.E.T. and DFT. For porosity, the most used are Barrett, Joyner, and Halenda (B.J.H.) and DFT methods.⁴¹⁻⁴³

The N₂ adsorption/desorption isotherms, and pore size distribution, was reported by Xu and Zhang (2011).⁴¹ The authors were observed that the N₂ adsorption/desorption isotherms of graphite presented a non-porous characteristic with 17 m² g⁻¹ of specific surface area, calculated using the B.E.T. method. The graphite sample did not show pore size distribution, confirming that graphite is a non-porous material.⁴¹ After the graphite oxidation reaction to GO, the N₂ isotherms showed characteristics of micro-mesoporous material (intra and extra particle), since the isotherms showed high adsorption in p/p₀ near to 1,0 as a consequence of the aggregation of the particles.⁴¹

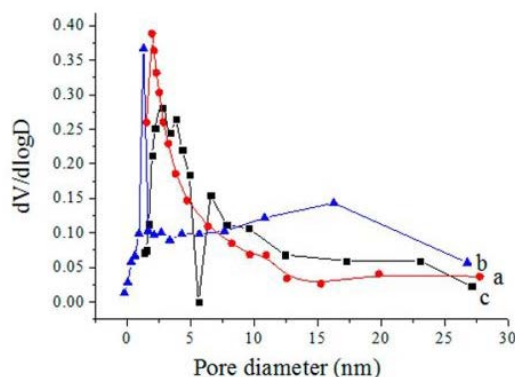
The GO sample has 332 m² g⁻¹ of specific surface area and pore size distribution of 1.5 nm and in the range of 4.0-14.0 nm for GO, indicating the micro and mesoporous presence, calculated by density functional theory method (DFT). The authors suggested that the mesopores come from the GO nanosheets' stacking, overlapping, and roughness, while the micropores are from the nanosheet defects.⁴¹

After the GO complete reduction to graphene by hydrazine, the nanomaterial presented 617 m² g⁻¹ of specific surface area. This area increase is the result of the oxygenated groups removed from GO to produce graphene. Graphene also showed an isotherm characteristic of micro-mesoporous materials, but without particle agglomerates formation, suggesting a good efficiency of the exfoliation process. As for the particle size distribution, graphene has a smaller amount of 1.5 nm micropores and a larger mesoporous amount measuring (4.0 nm).⁴¹

Belange's group (2017)⁴² performed N₂ adsorption/desorption isotherms of GO and rGO and verified that the GO area had a marked increase after being thermally reduced rGO from 25 to 900 m² g⁻¹, respectively. The authors also commented that this increase in the specific surface area of the rGO is due to the GO's oxygenated groups removal, and larger mesoporous amounts are formed. The high specific surface area value can be explained by the agglomeration and nanosheets partial overlap due to the thermal reduction, decreasing the nanomaterials surface area.⁴²

Jiang (2020)⁴³ presented CS, GO, and CS-GO specific surface areas of 89, 32, and 297 m² g⁻¹, respectively. The significant increase in the specific surface area of CS-GO was explained by an efficient dispersion of the nanomaterial (GO) in the polymeric matrix (CS). However, there was a decrease in the average pore size of the CS-GO (3 nm) when compared to its precursors GO (8 nm) and CS (5 nm). The CS(a), GO(b), and CS-GO(c) porous sizes are presented in Figure 19.⁴³

Figure 19 - BJH pore size distribution curves of (a) CS, (b) GO, and (c) CS/GO. Jiang, 2020 43 © 2020 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.



Chitosan (CS), Figure 19(a), did not present a microporous structure, with pores larger than 2.5 nm and a small amount of pores that vary between 5-25 nm. Also, GO pore size distribution, Figure 19(b), had a larger amount of 1 nm micropores and a smaller amount of mesopores ranging from 2-25 nm. Furthermore, the nanocomposite (CS-GO) synthesized by Jiang's group (2020) showed a larger amount of mesopores between 2-5 nm, Figure 19(c).⁴³

In addition to obtaining all information about polymeric nanocomposites' textural properties, it is also essential to investigate their rheological or mechanical properties, especially when these nanocomposites will be used for food packaging production.

Rheological Analysis

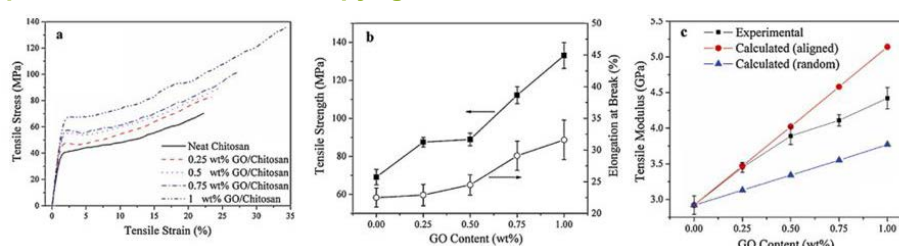
The material mechanical properties are measured through stress-strain curves through rheological analysis. In this type of analysis, the pressure is applied to the material that generates stress, usually with a defined value, and it is observed how much the material deforms concerning its original size. From this curve, it is possible to conclude several properties of the material, such as Young's Modulus - a measurement of the resistance of a material against deformation and obtained through the angular coefficient of the linear part of the curve.^{15,16,18-22}

The ultimate tensile strength (also called fracture strength) is another important mechanical property. It can be defined as the maximum stress that a material can resist without breaking,

obtained through the maximum value of the stress-strain curve. Furthermore, another important mechanical property is the so-called yield point, which shows the stress and deformation at which the material ceases to have an elastic behavior and starts to have a plastic behavior, indicated by the point where there is a profile change in the stress curve.^{15,16,18–22}

It is essential to highlight that the nanocomposites based on GO possess improved physical and mechanical properties compared to pure chitosan. In this way, Li's group (2011)²² synthesized a CS-GO nanocomposite and found that with 1% of GO the CS matrix had an improvement in Young's Modulus values, tensile strength, and elongation at the break by approximately 51% (2.92 ± 0.13 GPa to 4.42 ± 0.15 GPa), 93% (69.10 ± 4.10 MPa to 133.10 ± 6.80 MPa) and 40% ($22.50 \pm 1.50\%$ to $31.60 \pm 3.10\%$), as shown in the Figure 20.²²

Figure 20 - (a) Tensile stress versus strain curves; (b) tensile strength and elongation at break for GO-Chitosan nanocomposites as a function of GO content; (c) experimental tensile modulus and theoretical modulus calculated using the Halpin–Tsai model under the hypothesis that GO sheets are randomly dispersed and aligned in a polymer matrix. (Reprinted with permission from Ref.²². Copyright with license number: 5063820901920.)



In the Advincula's study (2017)¹⁵ of CS-GO nanocomposite also a significant improvement was observed when the GO concentration was only 0.25%, furnishing a Young's Modulus and Tensile strength at break were 22.70 ± 1.20 to 6879.0 ± 2011.70 MPa and 32.40 ± 6.20 to 69.60 ± 15.90 MPa, respectively.¹⁵

Another interesting study was reported by Fernández's group (2017),²⁷ in which a comparison of the effect of glycerol and GO on the mechanical properties of the CS matrix was evaluated. In this sense, the presence of glycerol caused a decrease in Young's modulus (62%), a reduction in tensile strength at yield (65%), a decrease in tensile strength at break of 38%, and an increase in elongation at break around 111%. These observations were due to the reduction of intermolecular forces in chitosan and increased mobility of polymer chains.²⁷ When GO is added, an increase in the stiffness of chitosan or chitosan/glycerol was observed. Consequently, improving the mechanical properties such as Young's Modulus which was 150% higher than pure chitosan.^{15,22,27}

Yan's study (2011)²¹ compared the pure chitosan film with the nanocomposite films with different GO concentrations and reported that the tensile strength in the rupture of the films was directly proportional to the GO increasing in the nanocomposite. The strong dependence of the tensile strength with GO concentration increase was assigned to the dispersion of graphene oxide at the molecular level and the strong H bond between chitosan and the graphene oxide surface.²¹

Basso's group (2019)¹⁶ found that the CS-GO nanocomposite showed a lower wettability/swelling than pure CS after 24 h with water contact. The authors reported that GO interacts with the polymer and stabilizes the CS network, and hence a low availability of hydrophilic groups was found. However, when nanocomposites were obtained from rGO occurred a lower degree of swelling (370%) than GO nanocomposites. It was suggested that rGO nanosheets provided a lower amount of hydrophilic groups in the CS-rGO nanocomposites.¹⁶

Electrical and Electrochemical Analysis

Basso's group (2019)¹⁶ demonstrated that electrical conductivity tests can be easily performed with the aid of a multimeter. In this analysis, graphite, GO and rGO pellets of 13 mm in diameter with a thickness of 1 mm were manufactured, and the study was carried out using an electric current source and measuring its voltage.¹⁶ In that way, Table 4 presents the results of electrical conductivity.¹⁶

Table 4 - GO and rGO electrical conductivity analysis results. Copyright © 2019, Basso (2019)¹⁶. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY).

Samples	Electrical Conductivity (S cm ⁻¹)
Graphite	1200.00
GO	3.10
rGO	60.00

The rGO oxygen amount compared to GO decreased, indicating that the thermal reduction process was efficient. At the same time, this table shows the electrical conductivity increases as the oxygen amount in the material structure decreases. In this way, the authors suggested that carbon networks with sp² hybridization are responsible for the electrical conductivity of graphene-based material.¹⁶

Song's group (2014)¹⁷ performed electrochemical measurements of cyclic voltammetry and alternative current impedance in polymeric nanocomposites from GO/CS¹⁷. Figure 21 shows the cyclic voltammograms (CV) obtained at the end of the analysis of the samples. This analysis shows how the electrical conductivity in polymeric nanocomposites based on graphene increases in comparison to the polymeric matrix (CS), suggesting that the GO improved the electroactive surface area of the material. The highest current value (μA) was achieved in the nanocomposite containing 0.5 wt.% of GO indicating the best dispersion of GO on the surface of the CS and a strong electrostatic interaction between the polymeric matrix (CS) and nanomaterial (GO).¹⁷

Figure 21 - CVs of different electrodes. (Reprinted with permission from Ref.¹⁷. Copyright with license number: 5063821186101.)

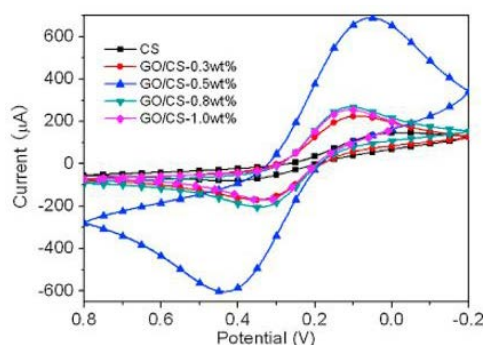
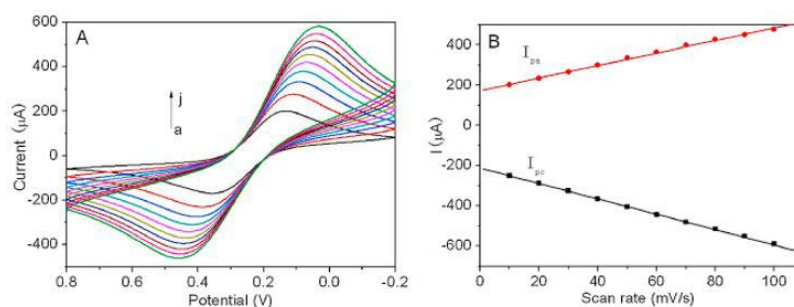


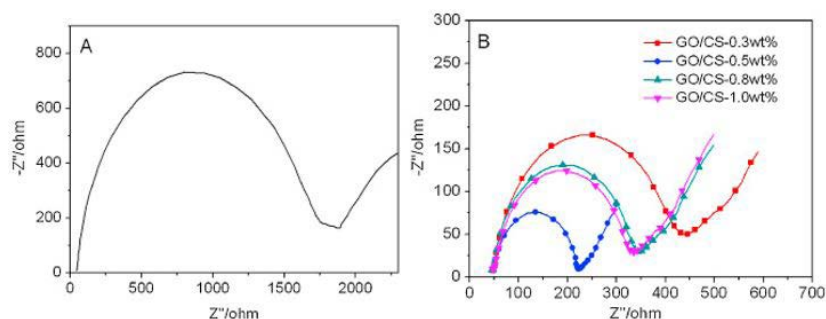
Figure 22 shows the linear relationship between the peak currents and the square root of the scan, suggesting an electrochemical behavior controlled by the diffusion.¹⁷

Figure 22 - (a) CVs of the neat CS modified electrode at different scan rates (from a to j: 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 and 100 mV s^{-1}). (b) Plots of peak current vs. scan rate. (Reprinted with permission from Ref.¹⁷. Copyright with license number: 5063821186101.)



In this study,¹⁷ the authors also used the electrochemical impedance spectroscopy technique to characterize the interfacial properties of polymeric nanocomposites,¹⁷ as shown in Figure 23.

Figure 23 - Nyquist plots obtained from impedance measurements in the presence of 2.5 mmol L^{-1} of $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]/\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ (1:1) and 0.1 mol L^{-1} KCl solution for (a) neat CS and (b) GO/CS. (Reprinted with permission from Ref.¹⁷. Copyright with license number: 5063821186101.)



In that sense, a large and defined semicircle was obtained at high frequencies for the impedance spectrum of the CS polymer matrix, with an estimated 1,710 Ω for the electron transfer resistance (R_{et}); suggesting the non-conductivity of the CS film, Figure 23(a). However, for GO/CS composites, the semicircles position has decreased dramatically, indicating the presence of conductivity of the nanocomposites, Figure 23(b). Notably, for the GO/CS-0.5 wt.% nanocomposite, the R_{et} value was 172 Ω , in which this dramatic reduction demonstrated that the addition of GO in composites facilitated the electron transfer.¹⁷

In this section, each of the most used analytical techniques for polymeric nanocomposites characterization of GO-CS and its precursors GO (nanomaterial) and chitosan (polymeric matrix) was reported and discussed through examples. It is important to mention that these analytical techniques can be used to characterize several nanocomposites of Gr, GO and rGO using different possibilities of polymeric matrices of both renewable and non-renewable origin.

FINAL CONSIDERATIONS

The generation of new nanomaterials with improved properties is one of the great potentials for polymeric nanocomposites production. Graphene and graphene oxide, with their notable properties and versatility, are highly promising materials that are suitable for a wide range of applications. Various analytical techniques were presented to know polymeric nanocomposites and their precursors, allowing for a more comprehensive characterization of your properties. This chapter made a significant contribution to the scientific community, providing valuable information on analytical techniques and when to use, them to understand the characteristics of nano-

materials, polymeric matrices, and nanocomposites that may be produced in the future. Another point worth mentioning is the use of renewable polymeric matrices as a more environmentally friendly alternative to fossil-based polymeric matrices, emphasizing the importance of continuing research for creation polymeric nanocomposites that are increasingly sustainable over time.

ACKNOWLEDGMENTS

FAPERJ (E-26/010.000.984/2019) and IQ/UFF.

REFERENCES

1. Potts, J. R., Dreyer, D. R., Bielawski, C. W. & Ruoff, R. S. Graphene-based polymer nanocomposites. *Polymer (Guildf)*. 52, 5–25 (2011).
2. Herrera-Ramírez, L. C., Castell, P., Fernández-Blázquez, J. P., Fernández, Á. & Guzmán de Villoria, R. How do graphite nanoplates affect the fracture toughness of polypropylene composites? *Compos. Sci. Technol.* 111, 9–16 (2015).
3. graphene layer. in *IUPAC Compendium of Chemical Terminology* vol. 473 2683 (IUPAC, 2008).
4. Romero-Vargas Castrillón, S., Perreault, F., de Faria, A. F. & Elimelech, M. Interaction of Graphene Oxide with Bacterial Cell Membranes: Insights from Force Spectroscopy. *Environ. Sci. Technol. Lett.* 2, 112–117 (2015).
5. Sivashankari, P. R. & Prabakaran, M. Chitosan/carbon-based nanomaterials as scaffolds for tissue engineering. in *Biopolymer-Based Composites* 381–397 (Elsevier, 2017). doi:10.1016/B978-0-08-101914-6.00012-0.
6. Hummers, W. S. & Offeman, R. E. Preparation of Graphitic Oxide. *J. Am. Chem. Soc.* 80, 1339–1339 (1958).
7. Ding, J. N. *et al.* The influence of temperature, time and concentration on the dispersion of reduced graphene oxide prepared by hydrothermal reduction. *Diam. Relat. Mater.* 21, 11–15 (2012).
8. Wong, C. H. A. *et al.* Synthetic routes contaminate graphene materials with a whole spectrum of unanticipated metallic elements. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 111, 13774–13779 (2014).
9. Nanda, S. S., Papaefthymiou, G. C. & Yi, D. K. Functionalization of Graphene Oxide and its Biomedical Applications. *Crit. Rev. Solid State Mater. Sci.* 40, 291–315 (2015).
10. Shamaila, S., Sajjad, A. K. L. & Iqbal, A. Modifications in development of graphene oxide synthetic routes. *Chem. Eng. J.* 294, 458–477 (2016).
11. Yang, X., Tu, Y., Li, L., Shang, S. & Tao, X. Well-Dispersed Chitosan/Graphene Oxide Nanocomposites. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2, 1707–1713 (2010).
12. Zhang, H., Luo, X., Lin, X., Lu, X. & Tang, Y. The molecular understanding of interfacial interactions of functionalized graphene and chitosan. *Appl. Surf. Sci.* 360, 715–721 (2016).

13. Fang, Y., Zhang, D., Guo, Y., Guo, Y. & Chen, Q. Simple one-pot preparation of chitosan-reduced graphene oxide-Au nanoparticles hybrids for glucose sensing. *Sensors Actuators B Chem.* 221, 265–272 (2015).
14. Terzopoulou, Z., Kyzas, G. & Bikiaris, D. Recent Advances in Nanocomposite Materials of Graphene Derivatives with Polysaccharides. *Materials (Basel)*. 8, 652–683 (2015).
15. Grande, C. D. *et al.* Chitosan Cross-Linked Graphene Oxide Nanocomposite Films with Antimicrobial Activity for Application in Food Industry. *Macromol. Symp.* 374, 1600114 (2017).
16. Maraschin, T. G. *et al.* Chitosan Nanocomposites with Graphene-Based Filler. *Mater. Res.* 22, (2019).
17. He, L., Wang, H., Xia, G., Sun, J. & Song, R. Chitosan/graphene oxide nanocomposite films with enhanced interfacial interaction and their electrochemical applications. *Appl. Surf. Sci.* 314, 510–515 (2014).
18. Yang, X., Tu, Y., Li, L., Shang, S. & Tao, X. Well-Dispersed Chitosan/Graphene Oxide Nanocomposites. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2, 1707–1713 (2010).
19. Demitri, C., De Benedictis, V. M., Madaghiele, M., Corcione, C. E. & Maffezzoli, A. Nanostructured active chitosan-based films for food packaging applications: Effect of graphene stacks on mechanical properties. *Measurement* 90, 418–423 (2016).
20. Zuo, P.-P. *et al.* Fabrication of biocompatible and mechanically reinforced graphene oxide-chitosan nanocomposite films. *Chem. Cent. J.* 7, 39 (2013).
21. Han, D., Yan, L., Chen, W. & Li, W. Preparation of chitosan/graphene oxide composite film with enhanced mechanical strength in the wet state. *Carbohydr. Polym.* 83, 653–658 (2011).
22. Pan, Y., Wu, T., Bao, H. & Li, L. Green fabrication of chitosan films reinforced with parallel aligned graphene oxide. *Carbohydr. Polym.* 83, 1908–1915 (2011).
23. Kumar, A. S. K. & Jiang, S.-J. Chitosan-functionalized graphene oxide: A novel adsorbent an efficient adsorption of arsenic from aqueous solution. *J. Environ. Chem. Eng.* 4, 1698–1713 (2016).
24. Schmal, M. *Heterogeneous Catalysis and its Industrial Applications.* (Springer International Publishing, 2016). doi:10.1007/978-3-319-09250-8.
25. Sabzevari, M., Cree, D. E. & Wilson, L. D. Graphene Oxide–Chitosan Composite Material for Treatment of a Model Dye Effluent. *ACS Omega* 3, 13045–13054 (2018).
26. Muda, M. S. *et al.* Chitosan-graphene oxide nanocomposites as water-solubilising agents for rotenone pesticide. *J. Mol. Liq.* 318, 114066 (2020).
27. Cobos, M., González, B., Fernández, M. J. & Fernández, M. D. Chitosan-graphene oxide nanocomposites: Effect of graphene oxide nanosheets and glycerol plasticizer on thermal and mechanical properties. *J. Appl. Polym. Sci.* 134, 45092 (2017).
28. Han, D., Yan, L., Chen, W. & Li, W. Preparation of chitosan/graphene oxide composite film with enhanced mechanical strength in the wet state. *Carbohydr. Polym.* 83, 653–658 (2011).

29. Grande, C. D. *et al.* Chitosan Cross-Linked Graphene Oxide Nanocomposite Films with Antimicrobial Activity for Application in Food Industry. *Macromol. Symp.* 374, 1600114 (2017).
30. He, H., Riedl, T., Lerf, A. & Klinowski, J. Solid-State NMR Studies of the Structure of Graphite Oxide. *J. Phys. Chem.* 100, 19954–19958 (1996).
31. Mahaninia, M. H. & Wilson, L. D. Modular Cross-Linked Chitosan Beads with Calcium Doping for Enhanced Adsorptive Uptake of Organophosphate Anions. *Ind. Eng. Chem. Res.* 55, 11706–11715 (2016).
32. Beti Andonovic, Misela Temkov, Abdulakim Ademi, A. P. & Anita Grozdanov, Perica Paunović, A. D. Laue Functions Model vs Scherrer Equation in Determination of Graphene Layers Number on the Ground of XRD Data. *J. Chem. Technol. Met.* 6, 545–550 (2014).
33. Andonovic, B., Grozdanov, A., Paunović, P. & Dimitrov, A. T. X-ray diffraction analysis on layers in graphene samples obtained by electrolysis in molten salts: a new perspective. *Micro Nano Lett.* 10, 683–685 (2015).
34. Pavoski, G. *et al.* Few Layer Reduced Graphene Oxide: Evaluation of the Best Experimental Conditions for Easy Production. *Mater. Res.* 20, 53–61 (2016).
35. Kumar, S., Wani, M. Y., Koh, J., Gil, J. M. & Sobral, A. J. F. N. Carbon dioxide adsorption and cycloaddition reaction of epoxides using chitosan–graphene oxide nanocomposite as a catalyst. *J. Environ. Sci.* 69, 77–84 (2018).
36. Aguilar-Bolados, H. *et al.* Synthesis of fluorinated graphene oxide by using an easy one-pot deoxyfluorination reaction. *J. Colloid Interface Sci.* 524, 219–226 (2018).
37. Bagheri, M., Jafari, S. M. & Eikani, M. H. Development of ternary nanoadsorbent composites of graphene oxide, activated carbon, and zero-valent iron nanoparticles for food applications. *Food Sci. Nutr.* 7, 2827–2835 (2019).
38. Thommes, M. *et al.* Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report). *Pure Appl. Chem.* 87, 1051–1069 (2015).
39. Sing, K. S. W. & Williams, R. T. Physisorption Hysteresis Loops and the Characterization of Nanoporous Materials. *Adsorpt. Sci. Technol.* 22, 773–782 (2004).
40. Dubinin, M. M. The Potential Theory of Adsorption of Gases and Vapors for Adsorbents with Energetically Nonuniform Surfaces. *Chem. Rev.* 60, 235–241 (1960).
41. Xu, B. *et al.* What is the choice for supercapacitors: graphene or graphene oxide? *Energy Environ. Sci.* 4, 2826 (2011).
42. Ossnon, B. D. & Bélanger, D. Synthesis and characterization of sulfophenyl-functionalized reduced graphene oxide sheets. *RSC Adv.* 7, 27224–27234 (2017).
43. Zhu, W., Jiang, X., Liu, F., You, F. & Yao, C. Preparation of Chitosan—Graphene Oxide Composite Aerogel by Hydrothermal Method and Its Adsorption Property of Methyl Orange. *Polymers (Basel).* 12, 2169 (2020).



Análise estrutural de uma ponte treliçada de palitos de picolé

Diego Ferreira Leite da Silva

Graduando em Engenharia de Controle e Automação na UFMT – Campus Várzea Grande

Fernanda Quadros de Oliveira

Graduando em Engenharia Química na UFMT – Campus Várzea Grande

Gabriel Carneiro Varela

Graduando em Engenharia de Transportes na UFMT – Campus Várzea Grande

DOI: 10.47573/ayd.5379.2.190.15

RESUMO

O presente projeto aborda o processo de construção de um modelo de ponte treliçada projetada para suportar a carga previamente estabelecida. Durante a construção e teste foi possível ver a resistência dos materiais ao ver como vários membros componentes da ponte age sob os esforços de tração ou compressão, e a função de cada cálculo para que a ponte suporte eficientemente o peso estabelecido.

Palavras-chave: ponte. resistência dos materiais. treliças. esforços.

INTRODUÇÃO

O presente projeto aborda o processo de construção e ensaio de peso de uma ponte de palito de picolé. Possui como objetivo aplicar os conhecimentos adquiridos durante o semestre na disciplina de Resistência dos Materiais podendo, no final, comparar os resultados do ensaio com os obtidos nos cálculos.

A ponte é composta de 2 treliças planas construídas com palitos de picolé e cola de madeira. Durante a construção do projeto foi possível ter uma visão mais próxima da realidade do comportamento estrutural nas pontes quando submetidos a forças atuantes ao longo do tempo.

Através de pesquisas em normas e materiais acadêmicos foi possível desenvolver esta ponte. Também foi utilizado o software Ftool para os cálculos estruturais. A partir disso, foi determinado um vão livre de um metro entre as extremidades da ponte, altura de 0,4 metro e a distância entre as duas treliças de 0,1 metro.

O projeto constitui de uma pequena fundamentação teórica e o processo de construção, contendo a justificativa da geometria da ponte escolhida, cálculos de forças exercidas nas barras, cálculo de número de palitos m cada barra, dimensionamento e vistas da ponte para contribuir na visualização e para futuras construções e análises.

REFERENCIAL TEÓRICO

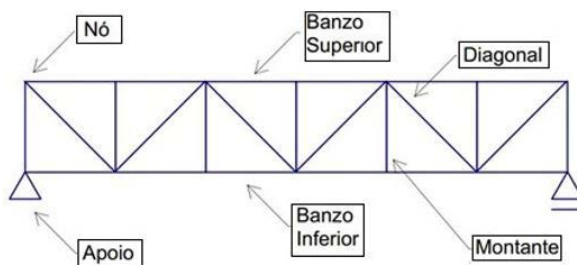
Souza, Rodrigues e Mascia (2008) define treliça como uma estrutura constituída por barras dispostas sob forma geométrica triangular, com o intuito de resistir a esforços normais apenas, através de pinos, soldas, rebites, parafusos, que visam formar uma rígida,

A designação treliça plana é devido a todos os elementos do conjunto pertencer a um único plano. A sua aplicação é constatada em muitas estruturas comerciais, residenciais, em pontes, viadutos, cobertura, guindaste, torres entre outras.

- Para Souza, Rodrigues e Mascia (2008), os elementos fundamentais que compõem as treliças são:
- Corda ou banzo: conjunto de barras que limitam superiormente ou inferiormente a treliça;
- Montante: barra vertical das treliças;

- Diagonal: barra com o eixo coincidente com a diagonal de um painel;
- Painel: trecho compreendido entre dois alinhamentos consecutivos de montantes.
- Nó: ponto de encontro e junção das extremidades das barras;
- Tesoura: treliça de banzos não paralelos, destinada ao suporte de uma cobertura. Estes elementos podem ser vistos na figura 1:

Figura 1 – Estrutura de uma treliça.



Fonte: Os autores.

O cálculo dos esforços nas barras pode ser realizado por dois métodos distintos, o de Cremona ou o de Ritter.

No método de Cremona usa-se o princípio da estaticidade da estrutura, com base no somatório das forças no plano horizontal e vertical resultante sempre em um valor nulo. Para isto é escolhido um nó e baseando nas cargas conhecidas é estabelecido o somatório de forças, na qual as forças dos esforços nas barras são incógnitas e o somatório é nulo. Continua-se cálculo, assim encontrando o valor dos esforços nas barras.

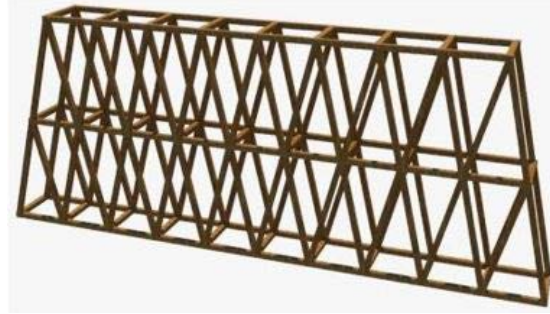
Já no método de Ritter também se utiliza o princípio da estaticidade, entretanto não se aplica o somatório de forças e sim o somatório dos momentos realizados por estas forças tendo como base um ponto qualquer da estrutura. Para isto corta-se a treliça em duas partes; verifica-se o equilíbrio em uma das partes. O corte deve interceptar a treliça para que se tenha no máximo 3 incógnitas, para que possa haver solução, através das equações de equilíbrio. Repete-se o procedimento, até que todas as barras da treliça estejam calculadas.

Quanto no método Cremona, quanto no método Ritter, considera-se todas as barras traçionadas e se apresentarem um sinal negativo significa que estarão comprimidas;

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a construção da ponte, foram utilizados aproximadamente 450 (quatrocentos e cinquenta) palitos de madeira de picolé que foram selecionados uniformemente e 750mL de cola de madeira. Após essa seleção, foi definida a geometria da ponte (figura 2), e assim calculou-se as forças em que as barras seriam submetidas no Software Ftool.

Figura 2 – Modelo da ponte a ser construída.



Fonte: Os autores.

Considerações do projeto

O palito a ser utilizado será o de picolé Gaboardi, conforme mostra a figura 3:

Figura 3 – Palito a ser utilizado na construção da ponte.



Fonte: <https://www.apapelina.com.br/palitos-de-picole-especial-100-unidades-gaboardi>.

Na tabela abaixo apresenta os dados obtidos, por pesquisa bibliográfica, de um palito de picolé:

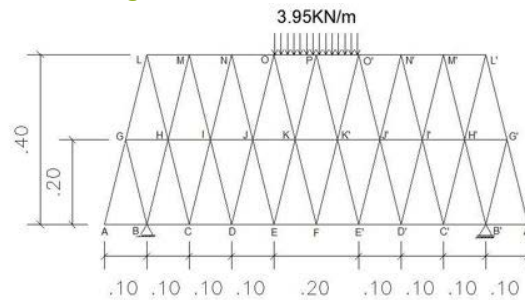
Tabela 1 - Dados gerais do palito.

Altura	2mm
Largura	8,4mm
Palito	110mm
Resistência à tração de ruptura	882,9N
Resistência à compressão de ruptura	48,07N
Momento de inércia	5,6mm ⁴
Módulo de elasticidade	7350MPa

Fonte: SEGALL, Danilo Cesar *et al.*

Os dados do palito utilizados nesse projeto foram obtidos a partir de pesquisas bibliográficas. Logo, foi possível escolher a geometria da ponte a ser construída, onde foram calculados os esforços de tração e compressão de casa barra, definindo assim a carga a ser aplicada 3,95KN/m.

Figura 4 - Treliça da Ponte.



Fonte: Os autores.

Memorial e análise dos cálculos

A treliça plana da ponte possuirá 1m de comprimento e 0,4m de altura. A distância entre as duas treliças planas será aproximadamente de 0,1metro. A treliça apresentará 30 nós e barras, ondes os esforços sofridos estão relatados a seguir.

Para o início do projeto, foi estabelecido um peso aplicado nos nós O, P e O' uma força vertical para baixo de 3,95kN/m

1º) Cálculos das reações de apoio:

$$\sum F_x = 0 \therefore RB_x = 0 \text{ 2º)}$$

2º) Equação de equilíbrio das forças na vertical:

$$\sum F_y = 0 \therefore RB_y + RB'_y - (3,95 \cdot 0,2) RB_y = - RB'_y + 0,79 \text{ (I)}$$

3º) Equação do equilíbrio dos momentos:

$$\sum M_A = 0 \therefore -0,79 \cdot 0,4 + RA'_y \cdot 0,8 RB'_y \cong 0,4\text{KN (II)}$$

Substituindo II em I, temos:

$$RBy \cong 0,4\text{KN}$$

4º) Valores dos esforços calculados no *Software Ftool*:

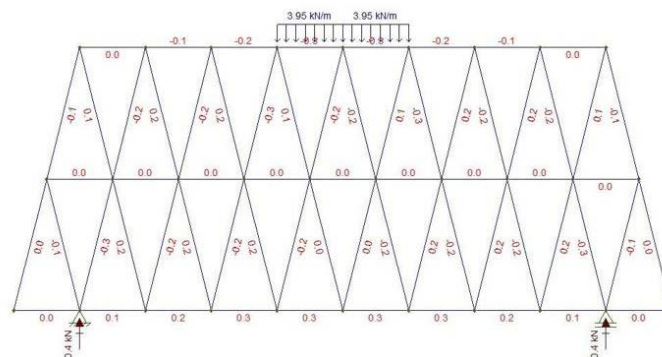


Tabela 2 – Esforço normal de tração em cada barra da treliça

BARRA	Comprimento da Barra na treliça plana (mm)	Esforço normal (KN)
BC	100	0,1
CD	100	0,2
DE	100	0,3
EF	100	0,3
DI	206,2	0,2
EJ	206,2	0,2
HL	206,2	0,1
IM	206,2	0,2
JN	206,2	0,2
KO	206,2	0,1

Tabela 3 – Esforço normal de compressão em cada barra da treliça

BARRA	Comprimento da Barra na treliça plana (mm)	Esforço normal (KN)
BG	206,2	-0,1
BH	206,2	-0,3
CH	206,2	-0,2
CI	206,2	-0,2
DJ	206,2	-0,2
EK	206,2	-0,2
GL	206,2	-0,1
HM	206,2	-0,2
IN	206,2	-0,2
JO	206,2	-0,3
KP	206,2	-0,2
MN	100	-0,1
NO	100	-0,2
OP	100	-0,3

Deste modo, com dimensionamento e os esforços foi possível calcular o número de palitos para cada tipo de barra conforme o seu esforço.

5º) Cálculo de número de palitos para barra em tração.

Para barra em tração utilizou-se a seguinte fórmula em que o esforço normal de tração é dividido pela resistência de cada palito.

Dado que a resistência do palito para tração é $882,9\text{N} \cong 0,9\text{KN}$, temos:

$$\text{Número de palitos} = \frac{\text{Esforço Normal de Tração (KN)}}{0,9(\text{KN})}$$

- $BC = HL = KO = 0,1 \text{ KN}$

$$\text{Número de palitos} = \frac{0,1 (\text{KN})}{0,9(\text{KN})} \cong 0,11 \rightarrow 1 \text{ palito}$$

- $CD = CH = DI = EJ = IM = JN = K'P = 0,2\text{KN}$

$$\text{Número de palitos} = \frac{0,2(KN)}{0,20,9(KN)} \cong 0,23 \rightarrow 1 \text{ palito}$$

- DE = EF = FE' = 0,3 KN

$$\text{Número de palitos} = \frac{0,3 (KN)}{0,9(KN)} \cong 0,34 \rightarrow 1 \text{ palito}$$

Para um ganho na estabilidade e um melhor travamento da estrutura, optou-se por reforçar os membros, utilizando em cada seção o número de 3 palitos.

6º) Cálculo de número de palitos para barra em tração.

Para membros com esforços de compressão estão sujeitos a flambagem, por isso, foi necessário calcular a força crítica de cada conjunto para saber a resistência que ambos oferecem. A força crítica é calculada através da equação:

$$P_c = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l^2}$$

E é o módulo de elasticidade da madeira que constitui o palito, L é o comprimento da barra e I é o menor momento de inércia dada pela equação:

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

As dimensões do palito utilizadas para o experimento foram: 110mm de comprimento, 2mm de espessura, 8,4mm de largura, o módulo de elasticidade da madeira é 7350MPa.

- Força crítica para 3 palitos:

$$I = \frac{(2+2+2)^3 \cdot 8,4}{12} = 151,2N$$

$$P_c = \frac{\pi^2 \cdot 7350 \cdot 10^6 \cdot 151,2 \cdot 10^{-12}}{0,110^2} = 906,47N \cong 0,9KN$$

Tabela 4 - Dimensionamento dos membros submetidos a compressão.

Barra	Força no membro (KN)	Palitos em cada conjunto
BG, GL, MN	0,1	3
CI, DJ, EK, HM, IN, KP, NO	0,2	3
BH, JO, OP	0,3	3

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção de uma ponte usando palitos de picolé integra uma ampla gama de conhecimentos, em que se considera desde as propriedades do palito de picolé até a geometria da treliça. Em um projeto de uma ponte real, exigem a mesma atenção, porém é necessário levar em conta a deformação como o local da construção, a variação da temperatura, bem como a

escolha do material, dadas suas propriedades e custos, para assim seja construída uma ponte resistente e com um valor mínimo possível.

Com bases nos cálculos e análises na estrutura, é esperado que a ponte suporte a carga projetada, todavia vale ressaltar que os cálculos não levam em consideração a não uniformidade dos palitos e a cola, a qual é responsável pela junção de toda a estrutura. Logo, é há uma probabilidade de resultados inesperados devido colagem.

REFERÊNCIAS

HIBBELER, R.C. Estática: Mecânica para engenharia, vol. 1; 10ª edição; Editora Pearson; São Paulo; 2005;

HIBBELER, R.C. Resistência dos materiais. 7.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

SOUZA, Marta Francisca Suassuna Mendes de; RODRIGUES, Rafael Bezerra; MASCIA, Nilson Tadeu. Sistemas estruturais de edificações e exemplos. Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~nilson/apostilas/sistemas_estruturais_grad.pdf>. Acesso em 20 fev. 2019.

TOMCZYK, Otavio Fernando. Dimensionamento de Trelças de Madeira para coberturas a partir de critérios técnicos comparado a métodos empíricos. 2010. 104f. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro Universitário de União da Vitória (UNIUV), União da Vitória, 2010. Disponível em: < http://engmadeira.yolasite.com/resources/TCC_01.pdf> . Acesso em 21 mar. 2019.

SEGALL, Danilo C., LIMA, Gabriela F. N., Castor, Gustavo H. *et al.* Teste de carga em ponte de palitos de picolé. Revista Científica Univiçosa, Viçosa, MG. v. 7, n. 1, p. 283-288, dez. 2015.



Estudo de ligantes modificados por resíduo de vidro

Tailson Campos Melo
Avilmar Nogueira de Lima
Marcela Navarro
Ellen Rodrigues de Souza
Leandro Assunção Marcelo
Marcos Jose Cavalcante Carvalho
Patrick Anderson Miranda Lopes

DOI: 10.47573/ayd.5379.2.190.16

RESUMO

O uso de ligantes asfálticos modificados em pavimentos vem crescendo de forma sólida nos últimos. Entre fatores, destacam-se o avanço do setor industrial químico, a consolidação do emprego de poliméricos em obras de reforços e as vantagens comprovadas (economia, segurança, durabilidade, segurança e outros). Neste contexto, este trabalho estudou a modificação do cimento asfáltico de petróleo (CAP) 50/70 em 4% e 5% de resíduo de vidro, em relação ao peso do ligante asfáltico. A incorporação do mencionado resíduo teve como objetivo melhorar suas propriedades reológicas e possibilitar uma destinação correta do resíduo estudado. Os ligantes (virgem e modificado) foram avaliados por meio dos ensaios de penetração, ponto de amolecimento e ponto de fulgor, conforme a especificação do órgão brasileiro Departamento Nacional de Estradas de rodagem (DNER). O material asfáltico modificado com 5% de resíduo de vidro demonstrou melhores propriedades físicas e reológicas quando comparado ao ligante modificado com 4% de resíduo de vidro e ligante convencional, ao longo de todos os ensaios de caracterização.

Palavras-chave: ligantes asfálticos modificados. pavimentação. CAP.

ABSTRACT

The use of modified asphalt binders in pavements has been growing steadily in recent years. Among factors, the advancement of the chemical industrial sector, the consolidation of the use of polymers in reinforcement works and the proven advantages (economy, safety, durability, security and others) stand out. In this context, this work studied the modification of petroleum asphalt cement (PAC) 50/70 in 4% and 5% of glass waste, in relation to the weight of the asphalt binder. The incorporation of the aforementioned residue aimed to improve its rheological properties and enable a correct destination of the studied residue. The binders (virgin and modified) were evaluated through penetration, softening point and flash point tests, according to the specification of the Brazilian National Department of Highways (DNER). The asphalt material modified with 5% glass waste showed better physical and rheological properties when compared to the binder modified with 4% glass waste and conventional binder, throughout all characterization tests.

Keywords: modified asphalt binders. paving. CAP.

INTRODUÇÃO

De acordo com a Pesquisa Nacional divulgada pela Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2021), o modal rodoviário tem uma participação expressiva na matriz de transporte do Brasil. Sendo responsável pela movimentação de 65% das mercadorias e de 95% da de passageiros. No entanto, a malha rodoviária brasileira possui apenas 12,4% da extensão total pavimentada, o que corresponde a 213,5 mil quilômetros. Por outro lado, a malha não pavimentada (1.350.100,0 quilômetros) representa a maior parte (78,5%) da extensão total da malha rodoviária nacional. Sendo que a maioria destas estradas não pavimentadas liga os municípios à malha pavimentada ou aos distritos e povoados.

Ainda com base nas pesquisas realizadas pela CNT (2021), a vida útil do pavimento flexível é aproximadamente de 8 a 12 anos, com a correta manutenção preventiva ou corretiva.

Contudo, a realidade encontrada no modal rodoviário brasileiro é um pouco diferente, ocorrendo as anomalias antes do prazo convencional em decorrência de diferentes fatores, em muitos casos a faixa de rodagem possui um tempo máximo de 3 a 5 anos, muito abaixo do esperado.

De acordo com a CNT (2021) 52,2% do total das rodovias pavimentadas (109.103 km) do país apresenta algum tipo de anomalia, ou seja, a qualidade geral das estradas do país, ainda não atende à demanda de uso que são impostas.

Para o DNIT (2006), as anomalias no pavimento são qualquer irregularidade tanto nas camadas inferiores quanto a de desgaste, que venha a interferir na funcionalidade do pavimento (conforto e segurança do usuário).

Nessa temática, o presente estudo objetivo estudar o desempenho reológico de ligantes asfálticos modificados por resíduo de vidro.

METODOLOGIA

Obtenção dos materiais

A primeira etapa deste trabalho consistiu na aquisição dos materiais. Sendo uma pesquisa regional, buscou-se utilizar os materiais empregados tradicionalmente na pavimentação asfáltica local, tomando como base o município de Porto Velho, capital do estado de Rondônia (RO).

Cimento asfáltico de petróleo

O ligante asfáltico empregado neste trabalho corresponde a um CAP 50/70, proveniente de uma empresa local da cidade de Porto Velho/RO. Sendo empregado como matriz na produção dos ligantes modificados.

Resíduo de vidro

O resíduo de vidro, foi proveniente de garrafas, sendo inicialmente higienizadas, secas, e, posteriormente, fragmentadas no equipamento *Los Angeles* com 12 esferas de aço, operando 3500 ciclos. Após essa etapa, utilizou-se o material passando na peneira nº 200 (0,075 mm). A Figura 1 mostra o material empregado neste trabalho.

Figura 1: a) vidro triturado; e b) material passante na peneira nº 200.



Fonte: Autores (2023).

Modificação do CAP 50/70

Com base nos trabalhos de Neto (2019), a modificação do cimento asfáltico foi realizada com teores de incorporação de 4% e 5% de resíduo de vidro, em relação ao peso do ligante asfáltico 50/70. A metodologia de modificação do ligante asfáltico 50/70 foi executado em misturador de baixo cisalhamento e hélice cisalhante.

A temperatura de incorporação dos materiais no ligante asfáltico foi de $150^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, faixa de cisalhamento 544RPM e período de homogeneização de 2 horas. Os procedimentos experimentais de modificação do ligante asfáltico puro foram baseados nos trabalhos realizados por Melo (2014) e Carlesso *et al.* (2019).

O processo de modificação envolveu as etapas apresentadas por Carlesso (2017). São elas:

- a) pesagem do CAP puro;
- b) pesagem do resíduo de vidro de acordo com o peso da matriz CAP 50-70 e com os teores definidos para a modificação (4% e 5% de resíduo de vidro);
- c) aquecimento, em estufa, do ligante asfáltico original, até a temperatura de 160°C ;
- d) inserção da lata de CAP 50/70 na cuba térmica acoplada ao misturador de baixo cisalhamento e imersão das cabeças de trabalho cisalhantes no material;
- e) estabilização da temperatura do conjunto em 160°C ;
- f) aumento gradativo da velocidade do misturador até serem atingidas 544RPM e temperatura de $160^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$; e
- g) inserção do resíduo de vidro no CAP 50/70, a partir de uma taxa média de incorporação de 5g/min.

Caracterização dos ligantes modificados

Para observar as características dos ligantes asfálticos, foi realizado a penetração, ponto de amolecimento e ponto de fulgor. De acordo com Pereira (2023), o objetivo da caracterização dos ligantes modificados é analisar o quanto pode aumentar a consistência do asfalto, durante o procedimento de dosagem das misturas asfálticas. Ainda segundo os autores, estas características influenciam nas propriedades mecânicas da mistura, e, conseqüentemente, quantificar o aumento de rigidez que ocorre após o processo de modificação.

Ensaio de penetração

O ensaio de penetração foi determinado de acordo com a norma ME 003 (DNER, 1999), sendo utilizado uma agulha-padrão sob uma carga pré-estabelecida de 100 gramas, penetrando livremente por 5 segundos sobre o cimento asfáltico com 50 gramas à temperatura de 25°C . O equipamento utilizado para realização do ensaio de penetração é apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Equipamento utilizado no ensaio de penetração.



Fonte: Autores (2023).

O resultado do ensaio do ensaio de penetração foi a média de três determinações, cujo valores não excederam o limite preconizado pela Tabela 1.

Tabela 1 - Critérios para indicação de resultados.

Penetração (0,1mm)	Diferença máxima entre o valor mais alto e o valor mais baixo das determinações (0,1mm)
0 até 49	2
50 até 149	4
150 até 249	12
até 500	20

Fonte: ME 003 (DNER, 1999).

Ponto de amolecimento

Com o objetivo de verificar a temperatura em que o asfalto amolece quando aquecido em condições padronizadas foi empregado o método do anel e bola (Figura 3), conforme as recomendações da norma brasileira ME 247 (DNER, 1994).

Figura 3 - Ponto de Amolecimento.



Fonte: Autores (2023).

Ponto de fulgor

Para avaliar a segurança de manuseio dos asfaltos durante transporte, estocagem e usinagem, empregou-se o ensaio de ponto de fulgor, segundo a norma ME 149 (DNER, 1994).

Trata-se de um parâmetro importante para classificação dos produtos combustíveis, especialmente no que tange à segurança, aos riscos de transporte, armazenagem e manuseio. Isto significa que, o ponto de fulgor é um experimento cuja finalidade é a determinação da máxima temperatura que pode aquecer o ligante asfáltico sem perigo de incêndio. Na Figura 4 é mostrado o procedimento experimental do ensaio de ponto de fulgor.

Figura 4 - Ensaio de ponto de fulgor.



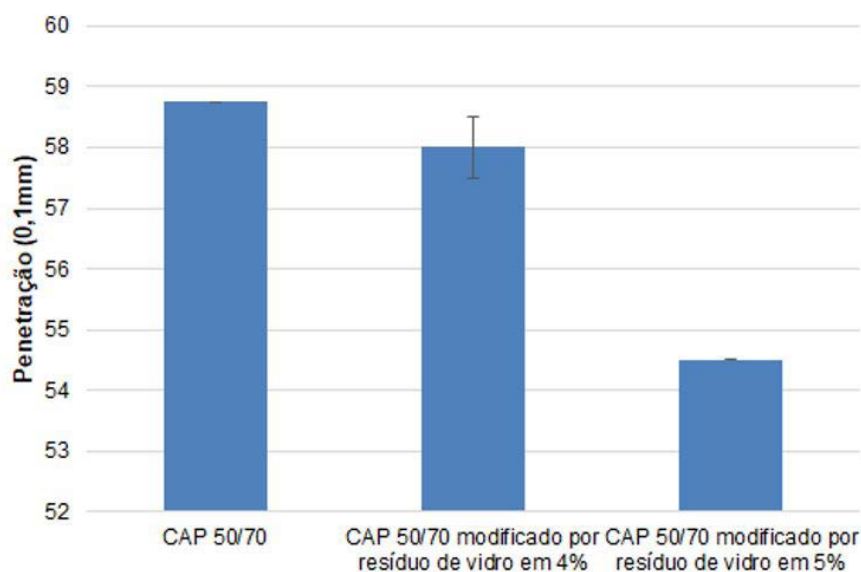
Fonte: Autores (2023).

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Avaliação das propriedades

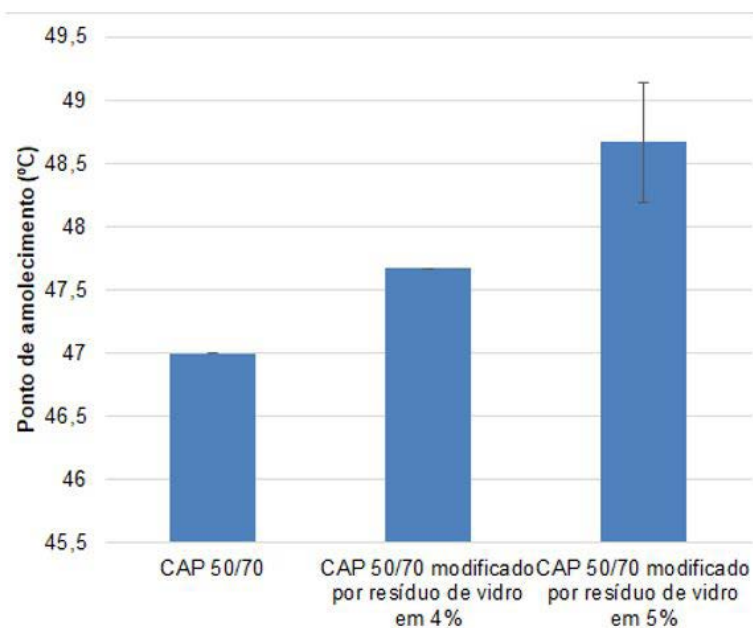
As Figuras 5, 6 e 7 mostram, respectivamente, os resultados dos ensaios de penetração, ponto de amolecimento e ponto de fulgor das amostras de ligantes asfálticos estudadas.

Figura 5 - Resultados de penetração.



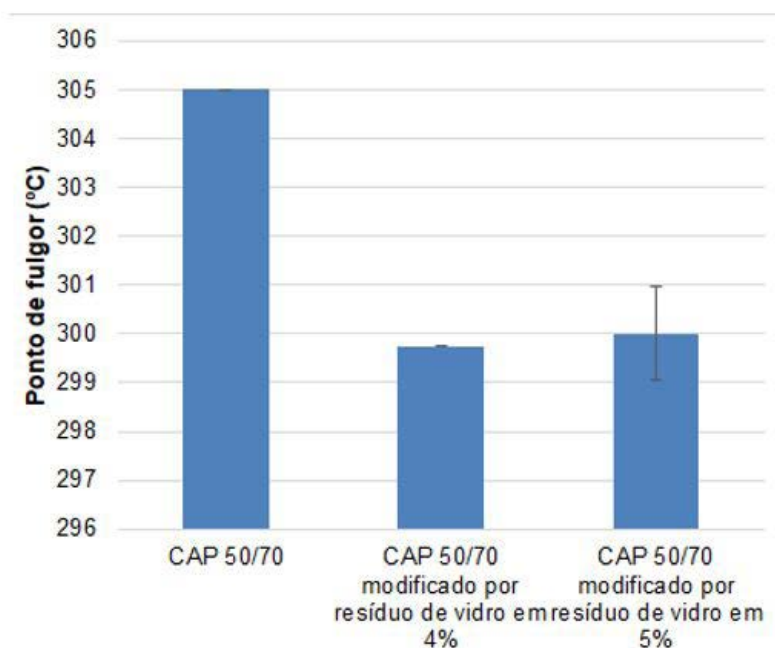
Fonte: Autores (2023).

Figura 6 - Resultados de ponto de amolecimento.



Fonte: Autores (2023).

Figura 7 - Resultados de ponto de fulgor.



Fonte: Autores (2023).

Conforme os resultados obtidos nas Figuras 5, 6 e 7, observa-se a redução da penetração e o aumento do ponto de amolecimento com a adição de resíduo de vidro, proporcionando menor sensibilidade a variação da temperatura, apontado pelo índice de suscetibilidade térmica. O resultado mais expressivo é visualizado na amostra modificada com 5% de resíduo de vidro. De acordo com Melo (2014), essas alterações nas propriedades empíricas do asfalto são interessantes, uma vez que os ligantes asfálticos utilizados no Brasil apresentam susceptibilidade perto do limite máximo das normas regulamentadoras.

Melo (2014), também afirma que o ponto de amolecimento é constantemente associado

com a ocorrência de deformações plásticas em composições asfálticas, quanto maior este valor, menor o afundamento nas trilhas de roda. Neste quesito, verifica-se na Figura 5 um ganho expressivo desse parâmetro, conforme ocorre o acréscimo dos teores de resíduo de vidros no ligante puro, o que sinaliza a influência do resíduo de vidro sobre o ponto de amolecimento. Em síntese, a adição do resíduo de vidro melhora a rigidez do ligante asfáltico 50/70. Acerca dos resultados obtidos na literatura especializada, referente às incorporações de materiais na matriz asfáltica, diversos autores (MELO, 2014, CARLESSO, 2017 e PEREIRA, 2023, entre outros), relataram que a incorporação de materiais na matriz asfáltica, em geral, provoca a redução da penetração e o aumento do ponto de amolecimento em comparação ao ligante asfáltico original.

Referente ao ponto de fulgor, os resultados do referido ensaio mostram que o ponto de fulgor diminui quando o resíduo de vidro comercial é adicionado na matriz asfáltica e aumenta quando adicionado o resíduo de vidro cominuído, ou seja, os ligantes asfálticos modificados com resíduo de vidro comercial entram em combustão mais rápido quando comparado com o ligante original e os ligantes asfálticos modificados com resíduo de vidro cominuído. Ainda assim, o manejo e aplicação desse material, mesmo com redução da temperatura do ponto de fulgor, ainda é seguro, visto que se encontram acima do valor mínimo estabelecido por norma (235°C). Relativo aos ligantes asfálticos modificados com resíduo de vidro cominuído é possível notar um aumento da temperatura de ponto do fulgor, ou seja, houve um melhoramento desse parâmetro, em campo, estes asfaltos entrariam em combustão em um tempo maior quando confrontado com as amostras de asfalto puro e modificado com resíduo de vidro comercial.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho estudou a modificação do ligante convencional por resíduo de vidro.

Para isto, foram desenvolvidos, dois teores de incorporação (4% e 5%) em relação ao peso na matriz asfáltica (CAP 50/70). No estudo de caracterização dos ligantes asfálticos, observou-se a melhoria das propriedades de penetração, ponto de amolecimento e ponto de fulgor para as amostras modificadas por resíduo de vidro, em especial a amostra de modificada com 5% de resíduo de vidro, o qual demonstrou maior diminuição da penetração e aumento do ponto de amolecimento quando comparado a amostra modificada com 4% de resíduo de vidro e amostra convencional.

Em geral, concluiu-se que o uso do resíduo de vidro possibilita melhoria do desempenho físico e reológico de ligantes asfálticos.

REFERÊNCIAS

CARLESSO, G. C. Estudo do comportamento de mistura asfáltica modificada por nanoargila e polímero SBS. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

CARLESSO, G. C.; TRICHÊS, G.; MELO, J. V.S.; MARCON, M. F.; THIVES, L. P.; DA LUZ, L. C. Evaluation of Rheological Behavior, Resistance to Permanent Deformation, and Resistance to Fatigue of Asphalt Mixtures Modified with Nanoclay and SBS Polymer. Applied Sciences-Basel, v. 9, p. 2697-2713, 2019.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES (CNT). Pesquisa CNT de rodovias 2021. CNT: SEST SENAT, 2021.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). ME 003/99. Material betuminoso: determinação da penetração. Rio de Janeiro, 1999.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). ME 149/94: Emulsões asfálticas - determinação do pH. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). ME 247/94: Material termoplástico para demarcação viária – determinação do ponto de amolecimento (método do anel e bola). Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE (DNIT). Manual de pavimentação 3ª Edição. Rio de Janeiro, 2006.

MELO, J. V. S. Desenvolvimento e estudo do comportamento reológico e desempenho mecânico de concretos asfálticos modificados com nanocompósitos. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

NETO, V. F. S. Avaliação Reológica do Ligante Asfáltico Modificado com Nanopartículas de Óxido de Zinco. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Campina Grande, 2019.

PEREIRA, A. G. Desenvolvimento de misturas asfálticas contendo material fresado e ligante asfáltico modificado com resíduo de vidro. Tese (Doutorado) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2023.

PINTO, J. I. B. R. Caracterização superficial de pavimentos rodoviários. Dissertação (Mestrado em Vias de Comunicação) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, 2003.

Organizador

Jean Carlos Rodrigues

Engenheiro Industrial Mecânico pelo CEFET-MG, Físico licenciado pela UFMG, Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Materiais pela UFMG e Doutorando em Engenharia Mecânica pela PUC. Além de especialista em metodologias ativas e tecnologias educacionais. Possui 14 anos de experiência na área educacional atuando como professor e coordenador no ensino superior.

Índice Remissivo

A

adubação orgânica 112,
agropecuária 51, 95, 114
alimento 64, 65, 71, 75, 80
alimentos 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74,
75, 76, 80, 81, 82
ambiental 39, 120, 127, 131, 133, 134, 137, 138
análise 13, 15, 32, 34, 39, 44, 48, 51, 54, 55, 56, 58, 62,
86, 88, 89, 90, 91, 93, 94, 95, 101, 102, 103, 104,
105, 108, 109, 114, 117, 118, 119, 120, 121, 123, 152,
153, 154, 155, 160, 162, 165, 168, 170, 175, 185,
186, 188
asfálticos 39, 41, 232, 233, 234, 236, 237, 238, 239
avaliação 14, 16, 39

B

bioconcreto 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182,
184, 185, 188, 192, 193
biodegradáveis 165
biofertilizante 86, 87, 88, 89, 90, 91, 93, 94, 95, 98, 99,
100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109,
110, 112,
biofertilizantes 85, 86, 87, 88, 89, 90, 93, 96, 98, 100, 103,
104, 107, 109, 110, 111
biológicos 64, 67
biomaterial 165, 166
bovino 86, 87, 88, 89, 90, 91, 93, 94, 95

C

CAP 232, 233, 234, 238
concreto 120, 133, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181,
188, 189, 190, 192, 193
conhecimento 80, 129, 140, 148, 150, 151, 154, 155, 156,
161
conhecimentos 165
construção 13, 25, 26, 39, 42, 43, 47, 48, 49, 73, 74, 75,
76, 115, 116, 119, 120, 121, 122, 132, 133, 175, 176,
177, 178, 181, 182, 193, 224, 225, 226, 229
construção civil 13, 25, 26

crescimento 52, 57, 68, 71, 72, 77, 86, 87, 89, 90, 91, 93,
94, 96, 97, 98, 99, 100, 102, 107, 108, 110, 111, 112,
114, 115, 127, 129

D

degradação 51, 52, 60, 61
desenvolvimento 39, 58, 60, 64, 65, 66, 69, 70, 73, 74,
87, 89, 90, 91, 94, 102, 103, 106, 107, 109, 110, 112,
114, 116, 117, 128, 129, 131, 137, 150, 153, 154,
155, 156, 160, 161, 162

E

efluentes 111, 120, 139, 140, 147, 148
engenharia 13, 40, 41, 78, 153, 164, 165, 166, 168, 171,
172
equipamento 35, 64, 65, 73, 75, 78, 79, 81
esterco 86, 87, 88, 89, 90, 91, 93, 94, 95
estratégias 64, 80
estratégicas 150, 152

F

fertirrigação 85, 86, 87, 88, 94, 95, 107, 108, 110, 112
fiscalização 115, 140, 147
fissuras 175, 176, 178, 180, 188, 189, 190, 192, 193

G

gestão 65, 66, 67, 87, 119, 123, 127, 128, 131, 132, 136,
137

H

higienização 64, 65, 71, 72, 75, 77, 80, 84

I

indústria 13, 16, 20, 63, 64, 65, 68, 70, 71, 76, 80, 81, 82, 84
indústrias 14, 64, 65, 67, 68, 72, 73, 74, 76, 80, 81
informação 150, 151, 152, 153, 154, 159, 162, 163
influência 25
integração 113, 114, 115, 116, 119, 123
irrigação 86, 88, 89, 99, 111, 112

L

legislação 64, 74, 120, 130, 140
limpeza 63, 64, 65, 68, 69, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81
logística 150, 155, 156, 158, 159, 161, 163
logísticas 41, 150, 152
logísticos 150, 156, 161, 163

M

manufatura 165, 173
material 13, 14, 15, 16, 17, 18, 21, 22, 37, 39, 40, 41, 42, 43, 46, 47, 48, 60, 61, 69, 71, 75, 76, 77, 80, 88, 102, 147, 156, 169, 170, 175, 176, 177, 180, 192, 195, 196, 198, 201, 202, 207, 208, 211, 212, 213, 215, 216, 217, 218, 230, 232, 233, 234, 238, 239
matéria-prima 13, 14
meio ambiente 14, 99, 43, 80, 87, 100, 120, 127, 128, 131, 136, 137, 140
mercado 25
metodologia 15, 44, 54, 55, 114, 127, 128
microrganismos 64, 65, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 76, 77, 80
microscopia 32, 33, 70, 165
modelagem 155, 165, 167, 172
morfologia 165, 166, 168
movelaria 13, 14, 20
mudas 85, 86, 87, 89, 90, 95, 96, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112,

O

obras 40, 41, 43, 44, 49, 119, 128, 130, 137, 192, 232

P

pastagem 51, 52, 53, 58, 59, 60, 61, 62

pastagens 50, 51, 52, 56, 57, 58, 60, 61

patologia 175, 180

patologias 175, 192

pavimentação 232, 233, 239

pavimentos 39, 41, 42, 133, 232, 239

planejamento 64, 66, 73, 117, 127, 128, 129, 130, 131, 136, 137, 138

ponte 223, 224, 225, 226, 227, 229, 230

processo 15, 16, 18, 20, 23, 27, 41, 42, 43, 45, 64, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 78, 87, 129, 131, 133, 134, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 161, 162, 163, 166, 167, 170, 180, 185, 187, 190, 224

produção 14, 15, 16, 17, 20, 25, 26, 28, 39, 49, 51, 58, 67, 70, 73, 74, 83, 86, 87, 96, 99, 104, 108, 110, 111, 112, 114, 115, 116, 120, 122, 123

produto 14, 16, 27, 43, 64, 65, 66, 71, 72, 73, 76, 77, 78, 80

projeto 42, 44, 47, 64, 65, 81, 117, 119, 120, 121, 131, 138, 153, 154, 155, 167, 181, 224, 226, 227, 229

Q

qualidade 14, 17, 20, 22, 35, 41, 42, 51, 52, 60, 61, 63, 64, 65, 66, 67, 70, 71, 74, 80, 81, 82, 86, 98, 99, 100, 110, 115, 124, 128, 129, 130, 133, 134, 136, 139, 140, 148

R

reaproveitamento 98

recuperação 51, 52, 53, 58, 60, 61

resistência 13, 14, 16, 17, 20, 25, 26, 27, 28, 29, 31, 33, 36, 41, 42, 52, 57, 64, 68, 69, 70, 71, 73, 76, 77, 90,

166, 175, 176, 177, 178, 179, 191, 192, 224, 228,
229

roteirização 150, 152, 158, 161

S

sistema 40, 41, 59, 61, 64, 65, 66, 67, 70, 71, 72, 73, 88,
89, 90, 91, 95, 96, 101, 108, 109, 110, 113, 114, 115,
116, 119, 123, 124, 125, 127, 128, 129, 130, 133,
134, 135, 136, 138, 140, 150, 151, 152, 155, 156,
159, 160, 162, 163

sistemas 41, 52, 57, 59, 61, 110, 127, 128, 130, 136,
150, 152, 156, 157, 160, 163

software 149, 150, 152, 153, 154, 155, 161, 162, 163

softwares 150, 161, 162

solo 39, 40, 41, 42, 43, 44, 46, 47, 48, 50, 51, 52, 53, 54,
55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62

sucesso 64, 81, 86, 87, 98, 99, 110, 129, 130, 157, 165,
171

T

tecnologia 73, 114, 115, 116, 150, 152, 162, 165, 169,
171, 175, 176, 181, 192, 193

tecnologias 39, 138, 150, 155, 156, 165

transporte 115, 116, 128, 135, 155, 156, 157, 165, 166

treliças 224, 227

U

urbanização 127, 129, 133, 134

V

vantagens 25, 43, 156, 232

variáveis 20, 86, 94

vegetação 53, 57, 59, 60, 87, 95, 98, 100, 102

viabilidade 14, 114, 115, 117, 118, 119, 120, 123

