

Resiane Silveira (Org.)

Volume
2
2022

ENGENHARIA

CONSTRUÇÃO DE CONHECIMENTOS

Resiane Silveira (Org.)

Volume **2**
2022

ENGENHARIA

CONSTRUÇÃO DE CONHECIMENTOS

2022 – Editora Uniesmero

www.uniesmero.com.br

uniesmero@gmail.com

Organizadora

Resiane Paula da Silveira

Editor Chefe: Jader Luís da Silveira

Editores e Arte: Resiane Paula da Silveira

Imagens, Arte e Capa: Freepik/Uniesmero

Revisão: Respective autores dos artigos

Conselho Editorial

Ma. Tatiany Michelle Gonçalves da Silva, Secretaria de Estado do Distrito Federal, SEE-DF

Ma. Jaciara Pinheiro de Souza, Universidade do Estado da Bahia, UNEB

Dra. Náyra de Oliveira Frederico Pinto, Universidade Federal do Ceará, UFC

Ma. Emile Ivana Fernandes Santos Costa, Universidade do Estado da Bahia, UNEB

Me. Rudvan Cicotti Alves de Jesus, Universidade Federal de Sergipe, UFS

Me. Heder Junior dos Santos, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP

Ma. Dayane Cristina Guarnieri, Universidade Estadual de Londrina, UEL

Me. Dirceu Manoel de Almeida Junior, Universidade de Brasília, UnB

Ma. Cinara Rejane Viana Oliveira, Universidade do Estado da Bahia, UNEB

Esp. Jader Luís da Silveira, Grupo MultiAtual Educacional

Esp. Resiane Paula da Silveira, Secretaria Municipal de Educação de Formiga, SMEF

Sr. Victor Matheus Marinho Dutra, Universidade do Estado do Pará, UEPA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S587e Silveira, Resiane Paula da
Engenharia: Construção de Conhecimentos - Volume 2 / Resiane Paula da Silveira (organizadora). – Formiga (MG): Editora Uniesmero, 2022. 120 p. : il.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-84599-55-0
DOI: 10.5281/zenodo.6792402

1. Engenharia. 2. Construção. 3. Produção. 4. Inovação Tecnológica. I. Silveira, Resiane Paula da. II. Título.

CDD: 620
CDU: 62

Os artigos, seus conteúdos, textos e contextos que participam da presente obra apresentam responsabilidade de seus autores.

Downloads podem ser feitos com créditos aos autores. São proibidas as modificações e os fins comerciais.

Proibido plágio e todas as formas de cópias.

Editora Uniesmero
CNPJ: 35.335.163/0001-00
Telefone: +55 (37) 99855-6001
www.uniesmero.com.br
uniesmero@gmail.com
Formiga - MG

Catálogo Geral: <https://editoras.grupomultiatual.com.br/>

Acesse a obra originalmente publicada em:
<https://www.uniesmero.com.br/2022/07/engenharia-construcao-de-conhecimentos.html>



AUTORES

**ANA CAROLINA CELLULAR MASSONE
ANDERSON CRISTIANO ROLIM
ANDRÉ VINICIUS AZEVEDO BORGATTO
BETHANIA BROCHIER
BIANCA ALENCAR MOREIRA
CECÍLIA MARIA MOTA SILVA LINS
CELSO HENRIQUE FARIAS COSTA
EDUARDO ANTONIO MAIA LINS
EDUARDO JORGE NUNES CAVALCANTI
EMANUELE PORTELLA MENDONÇA
GABRIELA FANCK DOS SANTOS
GIOVANNI BÓRO PASCHOAL
GUILHERME AUGUSTO BARROS GOMES
HÉRMANY NUNES MARTINS DE BARCELOS
JOSÉ VICTOR MARCONI CUNHA
JULIA HELENA ROSSIERI
LUAN PEREIRA CAMARGO
LUCIANO FRANCISCO FLORES DA ROSA
LUIZ HENRIQUE DALL'ANTONIA
MARIA GABRIELLA DETONE GUAITA
MARLUCI MELLO DE SOUZA
MAURÍCIO GAMMERTT ROHNELT
OSVALDO JOSÉ CORREIA FILHO
PAOLA LAMBERTY
PAULO PINHEIRO CASTANHEIRA NETO
SIMONE PERRUCI GALVÃO
TATIANA CUREAU CERVO
TÚLIO PEDROSA DE SOUZA
VINÍCIUS CONCEIÇÃO DE ARAUJO**

APRESENTAÇÃO

Uma Ciência tão antiga quanto a própria civilização, a engenharia acompanha a humanidade desde o princípio de sua evolução. A profissão foi fundamental para criar a sociedade como conhecemos atualmente. Então associada a outras ciências, permitiu que o homem saísse de condições nômades para fixar-se em uma local, evoluindo com o uso de recursos naturais. Essas criações que mudaram o rumo da sociedade como: alavancas, moinhos e polias, formaram a base técnica de inúmeras outras invenções mais complexas e são fruto do estudo dessa profissão.

Sendo assim, podemos descrever a engenharia como a utilização de conceitos teóricos e habilidades técnicas para o desenvolvimento. Seja de máquinas, edificações ou quaisquer outras formas de melhorar e facilitar a vida da sociedade.

A Engenharia está diretamente ligada ao desenvolvimento de uma nação. Sua valorização vem aumentando com o passar dos anos e, nos países emergentes, como o Brasil, torna-se um ponto chave no caminho para o progresso, pois oferece a possibilidade de ampliação de infraestruturas do país para a melhoria dos serviços prestados à sociedade e a resolução de problemas econômicos e sociais.

Os diferentes segmentos da Engenharia e entre os mais conhecidos estão as Engenharias Civil, Elétrica, Mecânica, Agrônoma, de Produção e Química, possibilitam o exercício de diversas áreas como planejamento, gestão de processos e produtos e desenvolvimento de tecnologias, o engenheiro tem uma atuação universal. A Engenharia é uma profissão que utiliza da sua Ciência para proporcionar, com responsabilidade, o desenvolvimento da sociedade a partir de estudo, planejamento e análise de projetos.

Em um mundo no qual as mudanças acontecem de forma rápida, e os recursos naturais são cada vez mais escassos, a engenharia tem papel importante para diminuir o impacto das adversidades climáticas e na preservação do meio ambiente. Isso só é possível graças às pesquisas e desenvolvimento de novos produtos de tecnologia verde.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEL A PARTIR DE ÓLEO DE SOJA <i>Luciano Francisco Flores da Rosa; Marlucci Mello de Souza; Paola Lamberty; Maurício Gammertt Rohnelt; Bethania Brochier</i>	8
CAPÍTULO 2 A METODOLOGIA BIM APLICADA NO PLANEJAMENTO ORÇAMENTÁRIO DE OBRAS RESIDENCIAIS UNIFAMILIARES <i>Paulo Pinheiro Castanheira Neto; Hérmány Nunes Martins de Barcelos; Vinícius Conceição de Araujo; José Victor Marconi Cunha</i>	18
CAPÍTULO 3 ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DAS FERRAMENTAS BIM NO PLANEJAMENTO E CONTROLE DE OBRAS <i>Paulo Pinheiro Castanheira Neto; Bianca Alencar Moreira; Celso Henrique Farias Costa</i>	28
CAPÍTULO 4 AVALIAÇÃO DE MISTURAS COM MATERIAL FRESADO ESTABILIZADO COM CIMENTO, CAL E ROCHA BASÁLTICA PULVERIZADA PARA EMPREGO EM PAVIMENTAÇÃO <i>Anderson Cristiano Rolim; Tatiana Cureau Cervo; Gabriela Fanck dos Santos</i>	38
CAPÍTULO 5 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA POR MEIO DE ANÁLISE TÁTIL-VISUAL DE UM TALUDE DA FORMAÇÃO CABO <i>Eduardo Jorge Nunes Cavalcanti; Cecília Maria Mota Silva Lins; Osvaldo José Correia Filho; Túlio Pedrosa de Souza; Eduardo Antonio Maia Lins; André Vinicius Azevedo Borgatto; Simone Perruci Galvão</i>	53
CAPÍTULO 6 COMPÓSITOS BASEADOS EM ÓXIDOS/HIDRÓXIDOS DE NÍQUEL SUPORTADOS EM CARBONO PARA ARMAZENAMENTO E GERAÇÃO DE ENERGIA <i>Giovanni Bóro Paschoal; Luan Pereira Camargo; Maria Gabriella Detone Guaita; Guilherme Augusto Barros Gomes; Julia Helena Rossieri; Luiz Henrique Dall'Antonia</i>	75
CAPÍTULO 7 GERAÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS ORGÂNICOS DE COMÉRCIO VAREJISTA ALIMENTAR <i>Emanuele Portella Mendonça; Ana Carolina Cellular Massone</i>	100
AUTORES	113



CAPÍTULO 1
**PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEL A PARTIR
DE ÓLEO DE SOJA**

Luciano Francisco Flores da Rosa
Marluci Mello de Souza
Paola Lamberty
Maurício Gammertt Rohnelt
Bethania Brochier

PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEL A PARTIR DE ÓLEO DE SOJA

Luciano Francisco Flores da Rosa

Graduando em Engenharia Química, Unisinos, lucianoff@unisinos.br

Marluci Mello de Souza

Engenheira Química, Unisinos, marlucims@unisinos.br

Paola Lamberty

Graduanda em Engenharia Química, Unisinos, paolalamberty@gmail.com

Maurício Gammertt Rohnelt

Engenheiro Químico, Unisinos, mauriciogammertt@gmail.com

Bethania Brochier

Dra. Prof. Engenheira Química, Unisinos, bethaniab@unisinos.br

Resumo: Com o advento de novas tecnologias limpas e renováveis nos últimos anos, junto à necessidade de reversão de quadro ambiental crítico proveniente do uso exacerbado de combustíveis fósseis, originou-se cenário favorável para desenvolvimento de iniciativas sustentáveis de transformação de resíduos em biocombustíveis tais como o biodiesel. No presente trabalho, estudou-se a produção de biodiesel a partir de óleo de soja, cujo processo de transesterificação se deu a partir de metanol e etanol com hidróxido de sódio. Após decantação posterior à reação de transesterificação, observou-se a formação de duas fases (característico da síntese de biodiesel) somente na reação com o etanol. O biocombustível foi caracterizado por meio da análise de parâmetros mínimos: pH, ponto de fulgor, massa específica e viscosidade cinemática a 40 °C. Comparando os resultados de caracterização obtidos para o biodiesel (pH 7,63; ponto de fulgor de 134 °C; massa específica de 870 kg/m³; viscosidade cinemática a 40°C de 5,23 mm²/s) produzido com etanol, constatou-se que tais parâmetros apresentaram valor acima do limite mínimo estabelecido pela resolução vigente da ANP. Adicionalmente, o biodiesel sintetizado apresentou rendimento satisfatório de 86,14% e custo total da fração obtida de R\$ 3,36. Comprovou-se, portanto, a possibilidade de síntese de biodiesel em conformidade com padrões mínimos, ensejando novos estudos que vislumbrem a otimização de sua produção e escalonamento do processo.

Palavras-chave: biocombustível. biodiesel. óleo de soja. energia renovável. sustentabilidade.

Abstract: With the advent of new clean and renewable technologies in recent years and the need to reverse the critical environmental situation resulting from the excessive use of fossil fuels, a favourable scenario has emerged for the development of sustainable initiatives to transform waste into biofuels, such as biodiesel. In the present work, the production of biodiesel from soybean oil was studied, using methanol and ethanol with sodium hydroxide in the transesterification process. At the end of the decantation time after the transesterification reaction, the formation of two phases (characteristic of biodiesel synthesis) was observed only in the reaction of oil with ethanol. The biofuel was characterized by analysing the following minimum parameters: pH, flash point, specific mass and kinematic viscosity at 40 °C. Comparing the characterization results obtained for biodiesel (pH = 7.63; flash point = 134 °C; specific mass = 870 kg/m³; kinematic viscosity at 40°C = 5.23 mm²/s) produced with ethanol, it was found that such parameters presented a value above the minimum limit established by ANP Resolution. Additionally, the synthesized biodiesel presented a satisfactory mileage of 86.14% and the total cost of the fraction obtained was 3.36 BRL. Therefore, with this experimental study, the possibility of synthesizing biodiesel in accordance with minimum standards was proved, allowing for new studies that envisage the optimization of its production and scaling of the process.

Keywords: Biofuel. Biodiesel. Soybean oil. Renewable energy. Sustainability.

INTRODUÇÃO

A busca por fontes alternativas de energia, mais limpas e renováveis tem aumentado nos últimos anos, sendo o biodiesel uma das opções mais exploradas na atualidade. Inicialmente, como aditivo ou até como substituto ao diesel nos setores de transportes e geração de energia em todo mundo, a fim de minimizar os impactos ambientais (KNOTHE et al., 2006). Diante de toda essa situação, o futuro aponta para a possibilidade de grandes mudanças na fabricação e utilização de biodiesel no Brasil. A soja é uma das matérias-primas mais produzidas e abundantes no país, dando a origem na produção de óleo de soja. O grande aumento do número de unidades de produção de biodiesel vem do grande incentivo governamental existente (DIB et al., 2010).

De acordo com a ANP (Agência Nacional de Petróleo), a definição de Biodiesel, como sendo “um combustível para motores a combustão interna com ignição por compressão, de fonte renovável e biodegradável, derivado de óleos vegetais ou de gorduras animais, que possa substituir parcial ou totalmente o óleo diesel de origem fóssil” (BRASIL, 2004). Destaca-se política energética do aumento gradual do teor de

biodiesel no óleo diesel, estando este valor em 10% no mês de agosto de 2021, valor inferior aos 13% previstos, devido ao aumento no preço da soja.

O biodiesel apresenta uma série de vantagens ambientais tais como isenção de enxofre, de compostos aromáticos e baixa emissão de monóxido de carbono e particulados. É constituído quimicamente por ésteres metílicos ou etílicos (dependendo do reagente utilizado no processo de catalise) de ácidos graxos de cadeia longa, os quais são obtidos, respectivamente, pelo processo de transesterificação dos triglicerídeos com metanol ou etanol. (BRASIL, 2004).

Este trabalho teve como objetivos a produção de biodiesel utilizando óleo vegetal de origem da soja, através do processo de transesterificação por catálise alcalina, realizando comparativo de eficiência entre a utilização dos álcoois metanol e etanol, além de mensurar o rendimento e estabelecer os custos de produção do produto final. Ao final avaliar a adequação do produto aos padrões de qualidade estabelecidos pela ANP.

MATERIAIS E MÉTODOS

A produção de biodiesel consistiu em quatro partes. A primeira parte do procedimento experimental teve por objetivo obter a mistura A, compreendida por 40g de etanol (teste 1) e 0,6g de hidróxido de sódio. Na sequência, ocorreu a pesagem de 120 g de óleo vegetal e o aquecimento dele até 55 °C. A mesma solução foi preparada utilizando-se metanol como variável de comparação (teste 2).

Ao atingir a temperatura necessária, a solução A foi adicionada sobre o óleo e essa mistura foi mantida sobre aquecimento e agitação por 30 minutos. Após ocorrer a reação de transesterificação, a agitação e o aquecimento foram cessados e ocorreu o processo de separação do óleo e da glicerina em uma pera de decantação, conforme a Figura 1.

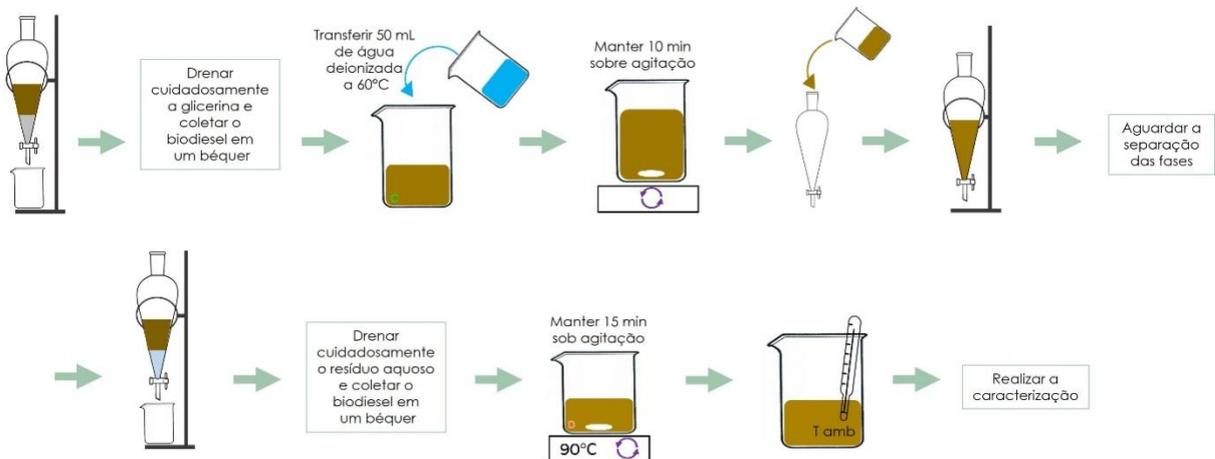
Figura 1 - Reação de transesterificação de óleo de soja com álcool e hidróxido de sódio.



Fonte: autores (2021)

Após a separação das fases tem-se a fase superior rica em biodiesel e a fase inferior com glicerina. O biodiesel foi coletado e lavado com água deionizada a 60 °C. A mistura foi deixada sob agitação por 10 minutos para garantir homogeneidade. Então, foi feita uma nova decantação na pera. Em seguida, removeu-se o biodiesel, que foi colocado sob agitação e aquecimento (90 °C) por 15 minutos para garantir remoção completo do resíduo aquoso. Uma vez seco, o biodiesel foi caracterizado. O procedimento segue o fluxograma exposto na Figura 2.

Figura 2 - Finalização do processo de obtenção de biodiesel.



Fonte: autores (2021)

Para o cálculo do custo de produção do biodiesel, foram levantados os custos de aquisição dos reagentes químicos utilizados, do óleo vegetal, além do valor pelo fornecimento de energia elétrica. Os custos dos reagentes e do óleo foram levantados em agosto de 2021 com fornecedores locais. O valor da energia elétrica foi utilizado o da cidade de São Leopoldo fornecido pela RGE Sul e o custo da água, apesar de no processo ter se utilizado água destilada, a fins de cálculo utilizou-se o valor cobrado pelo SEMAE pela água potável para todo município de São Leopoldo. Para estimar o

valor do custo de produção do biodiesel utilizou-se a Equação 1. Para fins de cálculo financeiro, considerou-se somente a síntese bem sucedida, com o etanol. Para calcular o rendimento do processo, usou-se a Equação 2.

Equação 1

$$\text{Custo de produção} = \text{Custo}_{\text{reagentes}} + \text{Custo}_{\text{água}} + \text{Custo}_{\text{energia}}$$

Equação 2

$$\text{Rendimento (\%)} = \frac{\text{Massa de Biodiesel produzido}}{\text{Massa de óleo vegetal utilizado}} * 100$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o tempo de decantação, observou-se a formação de duas fases (característico da síntese de biodiesel) somente na reação do óleo com o etanol. Na pêra de separação com o sistema de reação com metanol não houve separação e formou-se apenas um sistema homogêneo gelificado conforme evidenciado na Figura 3 à esquerda, portanto, não se obteve biodiesel desta configuração e não há resultados para tal, descartando-se assim o sistema gelificado. À direita na Figura 3, tem-se o biodiesel obtido após o processo de separação e lavagem.

Figura 3 - Decantação do Biodiesel sintetizado (esquerda) e biodiesel final (direita).



Fonte: autores (2021)

A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) regula a qualidade e os parâmetros normativos brasileiro, e para a produção de biodiesel,

possui uma portaria específica que regulamenta e estabelece os padrões mínimos de fornecimento deste combustível. A Norma regulamentadora é a RANP 45 de 2014 que engloba a resolução ANP Nº 45, de 25.08.2014 - DOU 26.08.2014, totalmente dedicada à formulação de Biodiesel, desta há 24 parâmetros a serem monitorados e controlados no fornecimento deste biocombustível. Na Tabela 1, são apresentados os resultados para a caracterização do biodiesel obtido na síntese com etanol, bem como os limites estabelecidos pela legislação.

Tabela 1 - Caracterização do Biodiesel sintetizado e comparativo à norma

Parâmetro	Biodiesel sintetizado	Limite Resolução ANP
pH	7,63	-
Ponto de Fulgor (°C)	134	100 (mínimo)
Massa Específica (kg/m ³)	870	850-900
Viscosidade cinemática a 40° C (mm ² /s)	5,23	3,0-6,0

Fonte: autores (2021)

Analisando somente os dados da Tabela 1, relevando a necessidade de analisar os outros 20 parâmetros, é possível afirmar que o combustível sintetizado atende os parâmetros mínimos para fornecimento, atendendo inclusive com superioridade aos valores normativos. O parâmetro de pH não é estipulado pela norma, pois há controle de outro parâmetro (índice de acidez frente a KOH), todavia, ao comparar com Miyashiro et al. (2011), atende a literatura que é neutro.

Os valores para cálculo de custo, bem como os resultados obtidos para o biodiesel transesterificado com etanol se encontram na Tabela 2. Tais resultados inferem nos cálculos de custo, assim como a Equação 2 e Equação 1, gerando a Tabela 3 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** com o balanço financeiro de produção.

Tabela 2 - Custos equivalentes de síntese do biodiesel transesterificado com etanol

Insumo	Preço	Quantidade	Custo equivalente
Hidróxido de Sódio	R\$ 42,28/kg	0,6 g	R\$ 0,025
Etanol	R\$ 19,95/L	40 g	R\$ 0,798
Óleo Vegetal	R\$10,33/L	120 g	R\$ 1,425
Água	R\$8,19/m ³	300 mL	R\$ 0,002
Energia Elétrica	R\$0,517/kWh	2,15 kWh	R\$ 1,112
Total			R\$ 3,362

Fonte: autores (2021)

Tabela 3. Balanço financeiro

Massa de Biodiesel produzida	103,37 g
Rendimento	86,14%
Custo total da fração	R\$ 3,362 (BRL)
Custo por grama	R\$ 0,026 (BRL)

Fonte: autores (2021)

CONCLUSÃO

Através dos resultados obtidos, infere-se que a técnica de obtenção do biodiesel é viável economicamente e atrativa do ponto de vista ambiental. Não foi possível sintetizar o biodiesel com metanol, do qual carece de estudo, haja vista que a indústria adota este reagente, embora seja tóxico, pois é comumente um coproduto e, portanto, mais barato.

Há uma alta eficiência do processo, haja vista que o rendimento de produção atingiu o valor de 86,14% e valores baixos de síntese de R\$ 0,026/g, adendo a este

baixo valor, há também o atrativo de a técnica não depender de complexos sistemas de síntese quando comparados com a obtenção de óleo diesel de forma convencional e ser ecologicamente atraente, pois pode-se sintetizar a partir de óleo usado.

A comparação dos parâmetros atende à norma estabelecida, todavia necessita ainda ser comprovada a sua qualidade em 20 outras análises mínimas necessárias que ficam pendentes se tomada a decisão de escalonamento e comercialização deste processo.

O grupo sugere como forma de aprimorar a atividade prática, sintetizar um volume maior de biodiesel, haja vista que no processo de aprendizagem ocorrem erros e fica limitada à fração a ser analisada pela natureza destrutiva de alguns parâmetros. Portanto, aumentar os parâmetros a serem analisados e testar outras condições de síntese, além do estudo do fornecimento de outro álcool e seu comportamento e avaliar a eficiência entre si.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade do Vale do Rio dos Sinos pelo fornecimento dos reagentes e disponibilização de infraestrutura para realização deste estudo.

REFERÊNCIAS

ANUÁRIO ESTATÍSTICO BRASILEIRO DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS 2019. Rio de Janeiro: Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP, 2019. ISSN 1983-5884.

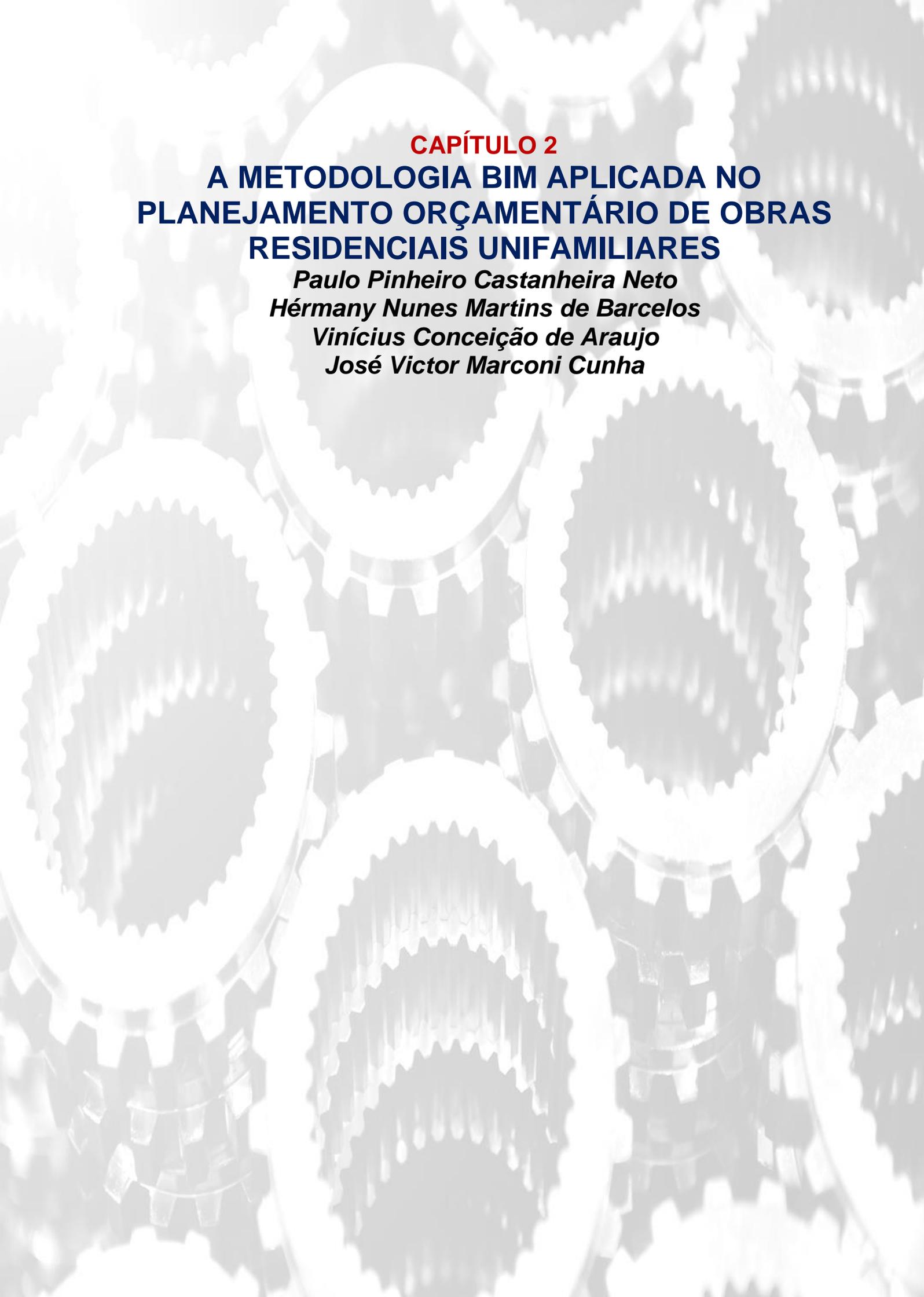
BRASIL - ANP - Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Combustível. Resolução nº 42, de 2 de novembro de 2004. Regulamento Técnico, n.º 04/ 2004. Brasília: Diário Oficial da União.

CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA ENERGÉTICA - CNPE. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS - ANP. RESOLUÇÃO ANP Nº 45, DE 25.8.2014 - DOU 26.8.2014. Estabelece a atribuição da ANP em especificar a qualidade do biodiesel. Brasília, 2014. Disponível em:<http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/resol-anp/2014/agosto&item=ranp-45-2014>. Acesso em: 8 nov. 2020.

DIB, F.H. Produção de biodiesel a partir de óleo residual reciclado e realização de testes comparativos com outros tipos de biodiesel e proporções de mistura em um moto-gerador. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de São Paulo (UNESP) 2010.

KNOTHE, G.; GERPEN, J. V.; KRAHL, J.; RAMOS, L. P. Manual do Biodiesel. São Paulo: Blücher, 2006. 352 p.

MIYASHIRO, S. C. et al. Produção de biodiesel a partir da transesterificação de óleos residuais. Revista Brasileira de Energias Renováveis, 2011.



CAPÍTULO 2
**A METODOLOGIA BIM APLICADA NO
PLANEJAMENTO ORÇAMENTÁRIO DE OBRAS
RESIDENCIAIS UNIFAMILIARES**

Paulo Pinheiro Castanheira Neto
Hérmány Nunes Martins de Barcelos
Vinícius Conceição de Araujo
José Victor Marconi Cunha

A METODOLOGIA BIM APLICADA NO PLANEJAMENTO ORÇAMENTÁRIO DE OBRAS RESIDENCIAIS UNIFAMILIARES¹

Paulo Pinheiro Castanheira Neto

DSc. Candidate Professor UNESA, Niterói-RJ, paulo.pinheiro@estacio.br;

Hérmany Nunes Martins de Barcelos

Graduado em Engenharia Civil, UNESA, Niterói-RJ, hermanyunes@hotmail.com;

Vinícius Conceição de Araujo

Graduado em Engenharia Civil, UNESA, Niterói-RJ, viniciusc.dearaujo@gmail.com;

José Victor Marconi Cunha

Graduado em Engenharia Civil, UNESA, Niterói-RJ, jvmarconicunha@gmail.com;

RESUMO: Tendo em vista que a inclusão das ferramentas que compõem a metodologia BIM pode trazer praticidades para a construção civil no Brasil, pesquisase sobre a aplicação destas no planejamento orçamentário de obras residenciais unifamiliares, a fim de analisar a eficácia prática da aplicabilidade da metodologia BIM 3D, 4D e 5D como instrumento de modelagem, planejamento e orçamentação. Realiza-se, então, um estudo de caso, o qual resume-se na transição de projetos baseados em tecnologia CAD para tecnologia CAE, buscando profundo detalhamento. Isto impõe a constatação de que esta metodologia promove a otimização na gestão de obra e no orçamento executivo por tratar de redução de custos, de despesas, desperdícios, tempo e simultaneidade de tarefas.

Palavras-chave: Engenharia Civil. BIM. Planejamento Orçamentário. Otimização de Processos. Interoperabilidade.

ABSTRACT: Given the inclusion of the tools that make up the BIM methodology can bring practicalities to civil construction in Brazil, it is researched the application of these in the budget planning of single-family residential construction, to analyze the practical effectiveness of the BIM methodology 3D, 4D, and 5D's applicability as a tool for modeling, planning and budgeting. Then, a case study is carried out, which is summarized in the transition of projects based on CAD technology to CAE technology, seeking deep details. This imposes the realization that this methodology promotes the

¹ Apresentado no Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC - 15 a 17 de setembro de 2021.

construction management optimization and the executive budget, because it deals with cost reduction, expenses, waste, time and simultaneous tasks.

Keywords: Civil Engineering. BIM. Budget Planning. Process Optimization. Interoperability.

INTRODUÇÃO

Embora seja mostrada como um dos principais eixos da economia, a construção civil é a área da engenharia onde a inovação tecnológica acontece de maneira vagarosa, o que é analisado tanto nas técnicas de construção, processos e planejamento de projetos.

A tecnologia passa então a ser um processo indispensável para a elaboração de projetos na construção civil, tendo como principais funções definição de orçamentos, controle de materiais estocados e utilizados, mão-de-obra envolvida, equipamentos utilizados, dentre tantos outros fatores que influenciam o produto final do projeto.

O uso de tecnologia na construção civil é capaz de elevar a produtividade e competitividade do setor (FIA, 2020). Isso ocorre em todas as esferas, com seu uso, torna-se possível rastrear informações e quantitativos desde a fase de projeto, tal como na etapa de construção (Ibidem, 2020).

O autor e seus projetistas de renome, Eastman et al. (2014), relatam os problemas do setor da construção civil em relação a desarmonia entre disciplinas, escassez de informações e a resultante incompatibilidade entre projetos de uma mesma obra.

O *Building Information Modeling* (BIM – Modelagem da Informação da Construção), no contexto da engenharia civil, é aplicado dado sua incrível agilidade, eficiência e conformidade entre as disciplinas de uma construção. Usado na produção de um orçamento, o BIM pode ser utilizado em uma ampla área que a engenharia civil compreende, desde que o emprego dessa atividade necessite de um planejamento otimizado dos custos de uma obra ou serviço da construção civil.

De acordo com Eastman et al. (2014), o modelo gerado pelos *softwares* BIM disponibiliza de forma automática informações gráficas (modelagem 3D) e informações não gráficas (especificações, quantitativos, cronogramas e outros dados), sendo que a parametrização desses fatores possibilitará um gerenciamento de informações otimizado – elementos parametrizados, *Building Information Model*

(Modelo de informação da construção) – que auxiliará na realização de um projeto da construção civil.

Os modelos gerados em BIM apoiam-se no conceito de interoperabilidade, sendo este um dos principais alicerces dos *softwares* BIM e da própria metodologia em si. Desta maneira, a metodologia BIM é possibilitada pelo *Industry Foundation Classes* (IFC), como forma de padronizar as informações compartilhadas e compatibilizar a geometria em um ambiente comum, além de exportá-las para verificação em outros programas.

A metodologia BIM também subsidia fatores de otimização, como a compatibilização dos projetos. Nesta linha, Farias (2020) define como um dos itens essenciais que compõem a verificação de compatibilidade de projetos em *softwares* BIM, a condição de detecção de conflitos (*Clash Detection*). Callegari (2007) sugere que a conscientização e consequente implementação da compatibilização por *softwares* BIM na fase de execução de projetos é justificável intrinsecamente pelo aumento da eficiência da construção civil.

Segundo Eastman et al. (2014, p. 222) a metodologia de trabalho em quatro dimensões (4D) se trata de uma inclusão do fator tempo ao modelo 3D, ou seja, permite aos projetistas e executores do projeto um controle sobre as etapas, delimitando metas e prazos.

Segundo Mattos (2014), o planejamento é um dos principais processos dentro do contexto de gerenciamento de obras que envolvem outras atividades como orçamentação, gestão de mão de obra, controle de serviços e insumos e a comunicação entre contratante e contratado. Diante disso, Marchiori (2009) denota simplificada que os principais componentes do orçamento de uma obra, são: preço unitário de materiais, quantidades de serviços e da mão de obra e consumo de materiais para cada função.

O objetivo desse artigo é analisar a eficácia prática da aplicabilidade da metodologia BIM 3D, 4D e 5D como instrumento de modelagem, planejamento e orçamentação de obras residenciais unifamiliares, utilizando-se dos *softwares* Revit, Project, Excel e Navisworks com foco na extração dos quantitativos do projeto para o planejamento orçamentário, sendo uma das características de *softwares* interoperáveis, a trabalhabilidade em códigos abertos (EASTMAN et al., 2014).

A integração das dimensões supracitadas é o norte deste artigo, ou seja, a modelagem na terceira dimensão do BIM (BIM 3D), será integrada ao processo de

planejamento (BIM 4D) e à modelagem na quinta dimensão do BIM (BIM 5D), que trata do processo de orçamentação.

O uso da metodologia BIM favorece a ampliação do resultado positivo da obra, pois abrange diversos processos e etapas da construção e garante a compatibilidade interdisciplinar, podendo ser executada em *softwares* variados.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado com base nos projetos 2D contidos nos “Cadernos Caixa: Projeto padrão de casas populares” de responsabilidade da GIDUR/VT (2007). Estes dispõem de 41,87 m² de área construída e 36,93 m² de área útil e foram originalmente realizados com base em tecnologia *Computer Aided Design* (CAD – Desenho Auxiliado por Computador) e posteriormente transpostos para a metodologia BIM pelos autores, com base em Revit para o 3D (modelagem) e Navisworks para o 4D (cronograma) e 5D (orçamento). Estes procedimentos foram realizados vislumbrando o potencial de otimização da metodologia BIM como ferramenta de planejamento de obras e extrator de quantitativos de projetos, proporcionado por sua interoperabilidade.

Visando as execuções futuras de um cronograma de obras com etapas assertivas e um orçamento financeiro com quantitativos acurados, optou-se pela modelagem 3D em LOD 400. Esse nível de desenvolvimento é considerado o mais alto na escala LOD para projetos executivos, visto que o LOD 500 que é utilizado para representação de *As Built*.

Com base no conceito de inclusão do tempo como dimensão de um projeto, o trabalho apresentado seguiu algumas premissas para o alcance do objetivo de integrar o 3D ao 4D, elaborando um cronograma de obras e posteriormente integrar o 4D ao 5D.

A partir do projeto 3D realizado no Revit, as etapas de campo a serem realizadas foram listadas e subdivididas em atividades menores e controláveis através de uma Estrutura Analítica de Projeto (EAP). Posteriormente, baseando-se nas fórmulas do cálculo de Produtividade e de Homem-Hora, a partir dos coeficientes disponibilizados na SINAPI, foram obtidas as equipes básicas e tempo de produção para cada uma das respectivas atividades. Utilizando-se das ferramentas disponibilizadas pelos programas Revit, Project e Navisworks e evidenciando a

ferramenta *Time Liner* para o último programa, foram realizados um cronograma de obra e um diagrama de Gantt para o projeto em questão.

De maneira geral, o levantamento dos custos de obra é realizado a partir de estudos dos quantitativos manuais em projetos 2D, que exigem elevado tempo de trabalho e são mais suscetíveis a erros. Para uma análise de quantitativos mais célere e assertiva, destaca-se o uso dos modelos em três dimensões (3D) projetados em BIM, que integram os quantitativos fornecidos pelos *softwares* e o banco de dados SINAPI, resultando no orçamento de forma mais precisa e rápida.

O ato de projetar em BIM, portanto, gera inúmeros benefícios em relação a processos tradicionais, pois facilita o processo de levantamento de quantitativos e reduz as incertezas sobre a quantidade de materiais.

Ademais, o modelo 5D torna os estudos de custos da obra e o método de orçamentação automatizados por conta das inserções de códigos e parâmetros, integrando os custos do projeto no modelo 3D, antecipando e administrando os gastos em toda a extensão do cronograma da construção.

Cabe ressaltar que um dos objetivos desta pesquisa, visa efetuar a extração dos quantitativos através dos *softwares* Revit e Navisworks para realização de uma integração e desenvolvimento mais assertivos quando comparadas aos métodos tradicionais de orçamentação. A extração de quantitativos é realizada a partir do modelo parametrizado em Revit gerando tabelas para posterior organização da planilha em Excel.

Cumprir lembrar que apenas foram orçados os custos referentes às composições (insumo + mão de obra) disponibilizados no sistema da SINAPI, alinhados aos materiais parametrizados, visando fornecer coeficientes de produção e custos unitários, convergindo no custo final da composição. Para tanto, não foram levados em consideração demais fatores, como maquinário ou outros itens presentes em um canteiro de obras.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A compatibilização de projetos em BIM evidencia erros de projetos de forma otimizada se comparada a tecnologia CAD, ainda mais utilizada no mercado brasileiro. Desta forma, o estudo buscou elucidar os entraves obtidos nos projetos de arquitetura, estrutural e complementares, por meio da ferramenta *Clash Detection* do Navisworks, que também subsidiou a extração dos quantitativos de projeto posteriormente à

análise de conflitos, conforme Tabela 1.

Tabela 1. Interferências entre projetos

Análise de interferência entre projetos modelados em BIM											
Estrutural e Hidrossanitário		Arquitetura e Estrutural		Arquitetura e Hidrossanitário		Estrutural e Elétrico		Arquitetura e Elétrico		Elétrico e Hidrossanitário	
Erros	%	Erros	%	Erros	%	Erros	%	Erros	%	Erros	%
7	10,61	46	69,70	9	13,64	3	4,55	1	1,52	0	0

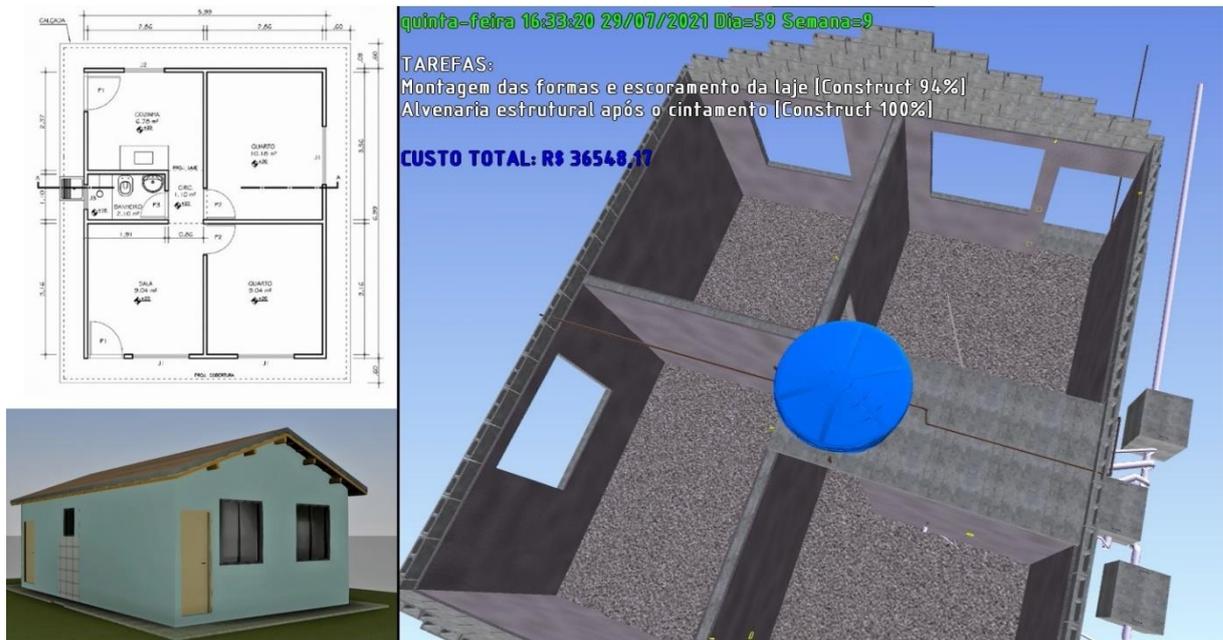
Os erros verificados nesta análise foram corrigidos e os projetos foram compatibilizados para comprovação das vantagens da metodologia BIM em gerar quantitativos de obras mais assertivos e por consequência, cronogramas e orçamentos de obra condizentes com a realidade do setor de Arquitetura, Engenharia e Construção Civil (AEC).

Efetivados os procedimentos no Navisworks, o produto obtido das etapas realizadas neste programa, foram levadas ao Project para sofrerem algumas alterações visuais, possibilitando então a integração entre o 4D e o 5D.

Os dados obtidos com a utilização do Navisworks no planejamento de execução da edificação, provisionaram o cronograma de obra, produto da integração entre as dimensões BIM 3D e BIM 4D, conforme Figura 1.

A utilização dos *softwares* Navisworks, Project e Excel aconteceram de forma integrada e simultânea. Com base nas ferramentas do Navisworks *Time Liner* e *Simulate*, obteve-se, respectivamente, o diagrama de Gantt e a visualização 4D das etapas de obra com base na vinculação da geometria 3D, gerando assim o cronograma de obra.

Figura 1. Transição de projetos baseados em tecnologia CAD para tecnologia CAE.



O resultado das integrações BIM 3D, BIM 4D e BIM 5D, foi obtido através de uma planilha quantitativa de itens e materiais de maneira a facilitar a visualização das etapas de execução. Por fim, realizou-se o cálculo dos custos envolvidos, conforme Figura 2, gerando um montante de R\$63.541,43 para realização do projeto. A fim de cumprir o proposto, a integração do BIM 5D com as dimensões anteriores, se deu a partir do momento em que foi possível visualizar o orçamento dos custos diretos incorporados em uma planilha única.

Figura 2. Orçamento Analítico Reduzido – Integração das Dimensões BIM 3D, BIM 4D e BIM 5D

ORÇAMENTO SINTÉTICO - INTEGRAÇÃO DAS DIMENSÕES BIM 3D, BIM 4D E BIM 5D							
DATA BASE DOS CUSTOS	fev/21	Serviços contemplam mão de obra			CUSTO DE OBRA:	R\$	63.541,43
					R\$/m²:	R\$	1.523,04
ITEM	MACROCLASSE	CÓD. SINAPI	DESCRIÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE	INCIDÊNCIA	CUSTO TOTAL
2	FUNDAÇÕES					INCID. SERVIÇO	TOTAL DO SERVIÇO
						13,845%	R\$ 8.870,09
2.1	01.MOVT.FSUP.008/01	96527	ESCAVAÇÃO MANUAL DE VALA PARA VIGA BALDRAME, COM PREVISÃO DE FÔRMA.	M3	4,40	0,843%	R\$ 535,66

Através desta planilha, foi possível mais uma vez identificar os custos totais no decorrer de toda a construção, bem como identificar os custos em determinados pontos da execução do projeto. Esta integração resultou, portanto, em um orçamento analítico ao qual pôde-se obter os custos diretos gerados, sendo definidos pelas

etapas de execução unindo-se a parametrização do BIM 3D, associado ao cronograma gerado pelo BIM 4D, finalizando com a orçamentação BIM 5D.

Vale ressaltar ainda que para uma integração em sua excelência a fim de reduzir retrabalhos posteriores, ao se integrar o BIM 3D com o BIM 5D, bem como o BIM 4D com o BIM 5D é válida a comunicação entre o projetista (3D) e o planejador (4D) com o orçamentista (5D), a fim de esclarecer as informações de todos os passos para correta inserção dos códigos SINAPI, reduzindo significativamente o tempo empenhado nesta atividade.

A aplicação dos procedimentos propostos neste artigo para a metodologia BIM otimiza a compatibilização dos projetos com o cronograma e orçamento, garantindo o controle integral desta interface.

CONCLUSÃO

A pesquisa confirmou a hipótese do emprego do BIM como um facilitador das etapas de planejamento, monitoramento/controlado e execução através da amarração do cronograma e orçamento com a visualização em modelo 3D de todas as etapas da obra definidas na EAP.

A integração das dimensões do BIM 3D, 4D e 5D proposta neste trabalho, foi atingida com sucesso.

AGRADECIMENTOS

Á Deus, a nossas famílias e amigos e ao professor Paulo por acreditar em nós.

REFERÊNCIAS

CALLEGARI, S. Análise da Compatibilização de Projetos em Três Edifícios Residenciais Multifamiliares. Dissertação – Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007.

EASTMAN, C. M.; Liston, K.; Sacks, R.; Teicholz, P. Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. Tradução de C. G. Ayres Filho al.; Revisão Técnica de E. T. Santos. Porto Alegre: Bookman, 2014.

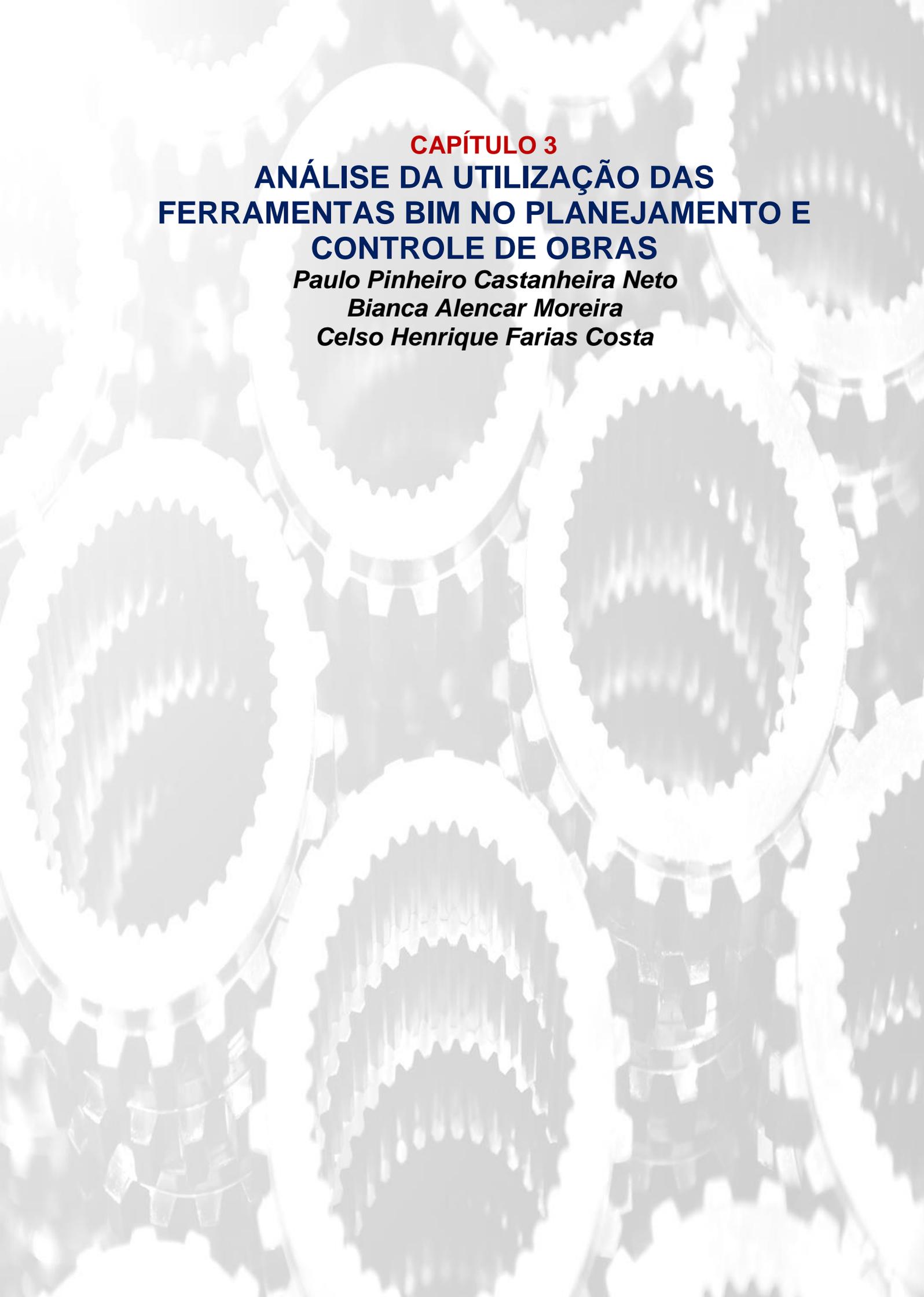
FARIAS, Júlio C. SPBIM. O que é o clash detection (detecção de colisão) no BIM? 2020. Disponível em: <https://spbim.com.br/o-que-e-o-clash-detection/>. Acesso em: 15 de novembro de 2020.

FIA. Tecnologia na Construção Civil: o que é, importância e exemplos. 2020. Disponível em: <https://fia.com.br/blog/tecnologia-na-construcao-civil/>. Acesso em: 08 de outubro de 2020.

GIDUR/VT. Gerência de Desenvolvimento Urbano de Vitória. Cadernos CAIXA Projeto padrão – casas populares | 42m². Vitória. ES. Janeiro de 2007.

MARCHIORI, Fernanda Fernandes. Desenvolvimento de um método para elaboração de redes de composição de custos para orçamentação de obras de edificações. Tese (Doutorado em Engenharia), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2009.

MATTOS, A. D. Como preparar orçamentos de obras: dicas para orçamentistas, estudo de caso, exemplos. 2. ed. São Paulo: PINI, 2014.



CAPÍTULO 3
ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DAS
FERRAMENTAS BIM NO PLANEJAMENTO E
CONTROLE DE OBRAS

Paulo Pinheiro Castanheira Neto

Bianca Alencar Moreira

Celso Henrique Farias Costa

ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DAS FERRAMENTAS BIM NO PLANEJAMENTO E CONTROLE DE OBRAS²

Paulo Pinheiro Castanheira Neto

MSc. Prof. Titular, UNESA, Rio de Janeiro-RJ, paulo.pinheiro@estacio.br

Bianca Alencar Moreira

*Graduada em Engenharia Civil, UNESA, Rio de Janeiro-RJ,
bianca.alencar96@gmail.com;*

Celso Henrique Farias Costa

*Graduado em Engenharia Civil, UNESA, Rio de Janeiro-RJ,
celso.costa09@gmail.com;*

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo a análise das ferramentas do BIM para facilitação do entendimento da tecnologia com métodos comparativos relacionando as atuais ferramentas no planejamento e controle de obras do Brasil com a tecnologia BIM. O BIM pode proporcionar um processo de trabalho com a probabilidade de erros diminuída significativamente e melhorias nos prazos de entrega do projeto concluído, tais características chamam atenção não apenas dos clientes, mas das empresas de engenharia dedicadas a oferecer um serviço de excelência e com mais rapidez. A implantação do BIM não precisa ser tão temida se obedecer a alguns preceitos fundamentais. O BIM pode fazer parte da realidade brasileira e impulsionar a construção civil de forma que ela seja ainda mais valorizada no mercado.

Palavras-chave: BIM, tecnologia, projeto, implantação.

ABSTRACT: This study aimed to analyze the BIM tools to facilitate the understanding of technology with comparative methods relating the current tools in planning and control of works in Brazil with the BIM technology. BIM can provide a work process with the probability of errors significantly reduced and improvements in the delivery time of the completed project, such characteristics draw the attention not only of customers, but of engineering companies dedicated to providing an excellent service and faster. The implantation of BIM does not need to be so feared if it obeys some fundamental precepts. BIM can be part of the Brazilian reality and boost civil construction so that it is even more valued in the market.

Keywords: BIM, technology, project, implantation.

² Apresentado no Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC - 15 a 17 de setembro de 2021.

INTRODUÇÃO

Com um mercado cada vez mais competitivo, a margem para erros diminui e a exigência do cliente aumenta a cada dia, vide o programa “Minha casa minha vida”, o qual possui projetos que contemplam piscina, edifício garagem, quadra de esportes, etc. Deve-se levar em consideração também a crise no setor da Construção Civil que o Brasil atravessa desde 2014, somando com a pandemia do Covid -19. Com isto, o planejamento e controle precisam ser otimizado de forma a viabilizar o crescimento de pequenas construtoras e garantir o resultado de empresas mais consolidadas

Uma tecnologia em ascensão que auxilia os profissionais da engenharia é o BIM (*Building Information Modeling*). O BIM é muito associado a softwares como Revit, Navisworks, entretanto, não se limita apenas a mais um recurso digital, mas sim a uma metodologia que pode integrar dados de diversos projetos distintos num único projeto permitindo prever diversas inconsistências que, somente durante a fase de execução seriam percebidas. Um projeto sem a utilização desta tecnologia tem maiores riscos de erros, o que pode afetar significativamente no fator fundamental e muitas vezes irrecuperável: o tempo.

Em diversos projetos pode-se perceber somente durante a fase de execução a existência de interferências, que só poderiam ser identificadas com uma compatibilização de projeto adequada, reduzindo impactos. Com o BIM, já na fase de planejamento temos a possibilidade de inserir a gestão do tempo, dos custos, pós-obra, entre outros. Vale ressaltar que a obra termina quando a edificação é construída, entretanto o pós-obra será o reflexo de como ela foi planejada e executada podendo nesta etapa ser considerada de um sucesso ao extremo fracasso.

A proposta da aplicação do BIM é uma solução cada dia mais adotada e precisa ser destrinchada para melhor análise e aproveitamento deste recurso. É possível que as práticas e técnicas aplicadas atualmente possam ser aprimoradas, se associadas ao BIM. Visto que a área tratada pertence à Engenharia Civil, discorrer e pesquisar sobre o assunto é de extrema relevância para os estudantes e para a sociedade a fim de gerar conclusões que facilitem e desmitifiquem uma nova tecnologia.

MATERIAL E MÉTODOS

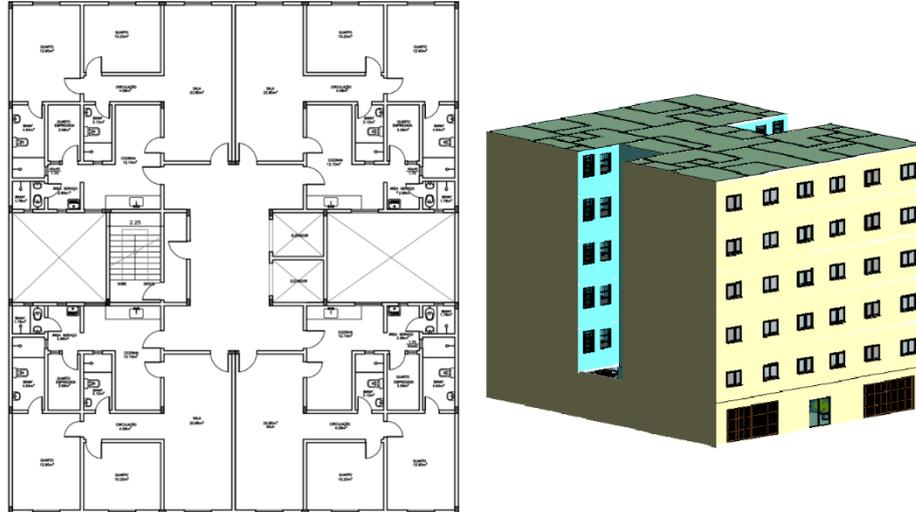
Um planejamento ineficaz pode gerar consequências irreversíveis ao projeto, à imagem da empresa em um mercado altamente competitivo, aos trabalhadores executores da obra e ao cliente final no pós-obra. (Ferreira, E. A., 2019). O ponto de partida de um projeto é o planejamento, é a partir dele que as demais questões da obra serão organizadas se este for feito de forma ineficiente toda a obra pode desandar.

O controle pode ser definido como os processos de coleta, análise e gerenciamento de dados, utilizados visando a prevenção, compreensão e integração, de modo a contribuir para o sucesso do projeto. O objetivo é observar de forma mais clara algum problema que não tenha sido notado durante o planejamento, antes que o problema de fato ocorra. Deste modo, o controle segue durante toda a fase de execução do projeto, desde o planejamento até a conclusão, e em partes no pós-obra. (Santos, V., 2017).

Atualmente, as empresas utilizam ferramentas que auxiliam neste planejamento e controle de obras como o Diagrama de Gantt que permite a visualização do cronograma com as etapas da obra, o Gráfico de Burndown que consiste em uma medição comparativa visual diária entre o trabalho concluído e a conclusão projetada, entre outras. Estas ferramentas são de extrema importância, mas elas acabavam definindo prazos sem prever erros no projeto, ainda faltava uma tecnologia que pudesse diminuir estes erros e fidelizar os prazos de entrega.

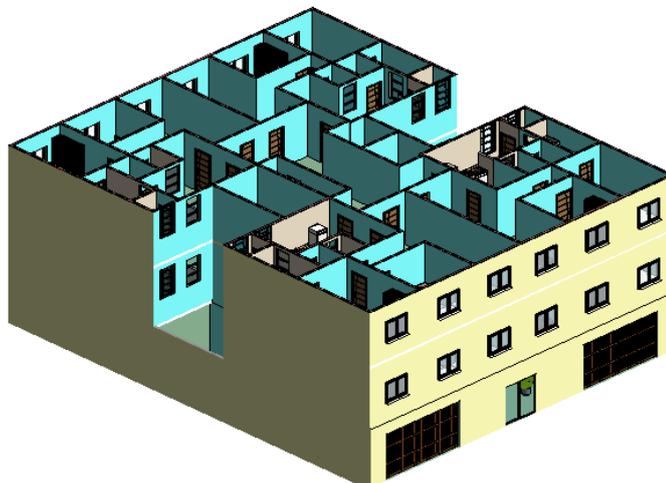
Visando o êxito de todo o processo, tem-se o BIM. Este trata-se de uma metodologia que incorpora alguns conceitos dentro dos projetos, nos quais são segmentados em categorias chamadas de Dimensões. Este estudo tem foco nas Dimensões 3D (Figura 1), 4D e 5D pois a percepção de mercado do Brasil ainda encontra o BIM sendo implementado de forma lenta, fazendo com que as demais dimensões ainda não sejam uma realidade nacional a curto prazo.

Figura 1. Planta Baixa e visualização 3D elaborada no Revit.



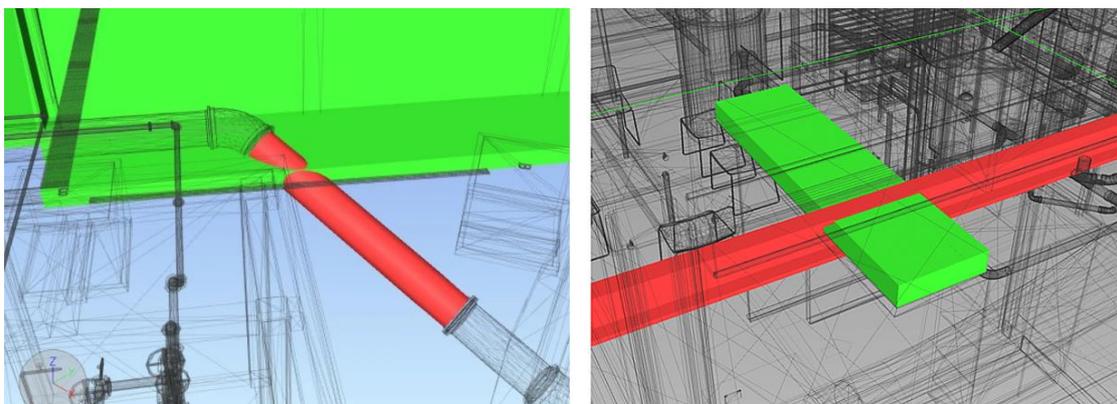
BIM 3D: Modelagem 3D. É a dimensão mais difundida do BIM, no qual representa as 3 coordenadas geográficas (X,Y,Z) de uma construção. As propriedades geométricas permitem que as partes interessadas possam visualizar o projeto da construção, antes mesmo do início das obras (Figura 2). Nesta dimensão também é realizada a compatibilização entre os projetos arquitetônicos, estruturais, hidráulicos, etc., a fim de detectar inconsistências e conflitos antes do início da fase de execução. O dimensionamento de materiais como pisos, esquadrias e paredes também ocorre nesta dimensão. No BIM 3D a extensão IFC (*Industry Foundation Classes*) permite a integração entre diferentes *softwares* BIM, ou seja, dois ou mais membros do projeto conseguem visualizar e editar o mesmo projeto em distintos *softwares* BIM sem perder nenhuma característica da original.

Figura 2: Vista em corte 3D realizada no Revit.



BIM 4D: Planejamento e controle do tempo. Na dimensão 4D é adicionado um novo elemento ao planejamento, o tempo. As tarefas são segmentadas e recebem um tempo (cronograma) em cada uma delas. No BIM 4D é possível acompanhar o andamento da obra e monitorar em qual etapa da execução pode gerar atrasos no cronograma, fazendo com que os responsáveis possam definir estratégias visando um melhor cronograma executivo. Nesta dimensão pode-se destacar a utilização do *software* Autodesk Navisworks, no qual possui, por exemplo, as ferramentas *TimeLiner* e *Clash Detective*. Com o *TimeLiner* é possível visualizar em 3D a simulação das etapas que foram planejadas em paralelo com o decorrer do tempo de cada etapa, permitindo avaliar a melhor estratégia de execução do projeto. No *Clash Detective* (Figura 3) todos os diferentes projetos existentes são abertos na mesma visualização, permitindo verificar conflitos entre os projetos ainda na fase de planejamento.

Figura 3: Clash Detective. Verificação de conflitos entre projetos distintos.



BIM 5D: Estimativas de custo. A dimensão 5D do BIM é a responsável por fornecer os valores de custo do projeto para as partes interessadas. O dimensionamento de materiais obtidos na dimensão 3D está associado ao custo da quantidade que foi levantado anteriormente. Com o auxílio de softwares esses quantitativos podem ser exportados para uma planilha, por exemplo, com o custo de cada material. Estes softwares também permitem que no 5D seja possível visualizar os custos em tempo real, recebendo notificações em caso de alteração, obter uma análise simplificada de custos e orçamentária sobre os gastos previstos e reais durante a fase de execução do projeto.

O Autodesk Quantity Takeoff permite a extração do quantitativo de materiais a ser utilizado mediante a inserção no software de algumas informações, tal como as dimensões dos elementos do projeto. Também é possível definir via software o valor de cada elemento, realizando de forma automática o custo total do que foi utilizado. Considerando que os softwares 2D não contemplam estas funcionalidades, as chances de erro de cálculo, seja por digitação ou distração são mais elevadas.

As empresas e os profissionais brasileiros ainda tem resistido quanto a implantação do BIM, mas é de extrema importância que esta seja bem planejada para que não ocorram custos adicionais na aquisição desta tecnologia. Um passo a passo que visa estimular a implantação de forma eficiente foi resumido, selecionado e elaborado com base nos pontos levantados de uma gerente sênior da Autodesk:

1. Capacitação dos colaboradores: Definir algumas pessoas para assumirem a responsabilidade pela implantação, estas pessoas terão que estudar o BIM a fundo para serem os especialistas da empresa com relação a esta tecnologia
2. Comunicar a mudança para a equipe: Mudança normalmente não é bem-vinda, por isso é necessário que os líderes da empresa abracem esta nova metodologia para incentivar e estimular os seus liderados.
3. Adequar os equipamentos: Para que o BIM possa funcionar de forma eficiente são necessárias algumas atualizações de equipamentos e hardwares para que os programas com tecnologia BIM tenham um bom e rápido funcionamento.
4. Desenvolver um plano de gestão de mudança: Este planejamento tem como objetivo definir os novos fluxos de trabalho, pois com a chegada da tecnologia BIM a forma de se trabalhar sofre mudanças.
5. Iniciar um projeto piloto: O projeto piloto seria um projeto de teste onde normalmente o número de participantes se limita a 10 pessoas em um prazo de quatro meses com um mentor em 50% do seu tempo dedicado.
6. Documentar todos os processos BIM: Por melhor que seja o treinamento da equipe, sempre surgirão dúvidas a respeito da metodologia e da prática no dia a dia. Visto isto, como parte do plano de gestão é importante a elaboração de instruções técnicas, especificações e outras ações de apoio que procurem sanar as dificuldades durante e após o processo de mudança.

7. Incentive os colaboradores mais entusiasmados com este novo processo: Ao decorrer da implantação da tecnologia BIM, algumas pessoas podem se tornar mais resistentes à mudança enquanto outras podem estar muito entusiasmadas devido às inúmeras vantagens e o apreço pelo novo conhecimento.
8. A mudança deve ser feita em etapas: Não adianta fazer treinamentos com toda a equipe no princípio já que ao decorrer do tempo se eles não estiverem com a tecnologia empregada o conhecimento será esquecido pois não foi praticado. O ideal é dividir em etapas, primeiro para os participantes do projeto piloto, enquanto isto as outras equipes continuam trabalhando da forma normal, depois que o projeto piloto for ajustado e definidas algumas linhas de trabalho mais claras, voltar os treinamentos com o restante da equipe que agora terão mais segurança no aprendizado e uma equipe de apoio para ajudá-los.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O BIM é um dos recursos mais promissores disponíveis no mercado. A digitalização das fases do projeto permite uma melhor percepção e análise dos processos, quando comparados com os projetos realizados de forma manual, nos quais estão mais suscetíveis a erro. Quando finalizados, estes modelos gerados em computador disponibilizam dados e geometria que irão auxiliar o desenvolvimento dos processos durante toda a fase de construção. A integração entre as diferentes equipes do projeto é afetada, proporcionando uma melhor qualidade com um menor custo financeiro e de tempo. (Eastman, et. al., 2008).

Foram evidenciadas diversas vantagens com relação ao BIM como a possibilidade da interoperabilidade entre sistemas, permitir ao cliente visualizar o resultado final desde a fase de planejamento, a documentação de fácil acesso, a informação de cada item da construção fica gravada nos próprios programas de criação e modelagem onde se torna rápida a exportação de um relatório quantitativo de itens podendo até gerar um relatório com os valores destes.

Por outro lado, no decorrer do desenvolvimento deste estudo, os autores perceberam que os grandes fatores que fazem com que o BIM não seja ainda mais difundido no Brasil são o valor das licenças dos softwares e a resistência da maioria dos profissionais em aprender uma nova tecnologia. Hoje, dia 25 de maio de 2021,

tendo como exemplo a licença do software Revit, o valor mensal é de R\$1.534,00, o valor anual é de R\$12.185,00 e o valor a ser pago a cada 3 anos é de R\$32.913,00. Com isto, fica nítido que a maior parte principalmente das pequenas empresas não tem condições mínimas de investir na implantação, licenças, cursos, treinamentos ou equipamentos tecnológicos para se desenvolver no mercado de trabalho.

CONCLUSÃO

Constata-se que o BIM é de fato o futuro da construção civil, superando qualquer metodologia antes já empregada, as vantagens abordadas são muito superiores e seus softwares contém recursos totalmente válidos e facilitadores para as empresas.

Devido a algumas problemáticas como o valor das licenças dos softwares, a falta de cultura de inovação e a dificuldade na implantação, o BIM ainda não é uma realidade principalmente para as pequenas e médias empresas alargando ainda mais a diferença quanto ao poder de aquisição de novos clientes se comparada com grandes empresas que possuem o capital necessário para o investimento completo na tecnologia.

Espera-se, portanto, que seja desenvolvida uma solução de mercado de modo a tornar-se mais acessível para um maior número de profissionais e empresas todas as funcionalidades e benefícios que o BIM proporciona.

AGRADECIMENTOS

À Deus que nos forneceu a oportunidade de começar e concluir o curso de Engenharia

Civil e elaborar este artigo, com saúde, força e sabedoria.

Às nossas famílias que nos apoiaram em todo o processo de aprendizagem, com compreensão.

Ao nosso orientador que nos impulsionou a aprendermos novas tecnologias.

REFERÊNCIAS

AUTODESK. Visão geral da ferramenta TimeLiner. Disponível em: <<https://knowledge.autodesk.com/pt-br/support/navisworks-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/PTB/Navisworks/files/GUID-D0D36E3D-F1D0-43B6-AB4E-2E7799B340A3-htm.html>>. Acesso em: 31 Mar 2021.

BAGUETE. 10 passos para o BIM. 2015. Disponível em:<<https://www.baguete.com.br/artigos/12/08/2015/10-passos-para-o-bim>> . Acesso em: 12 mai 2021.

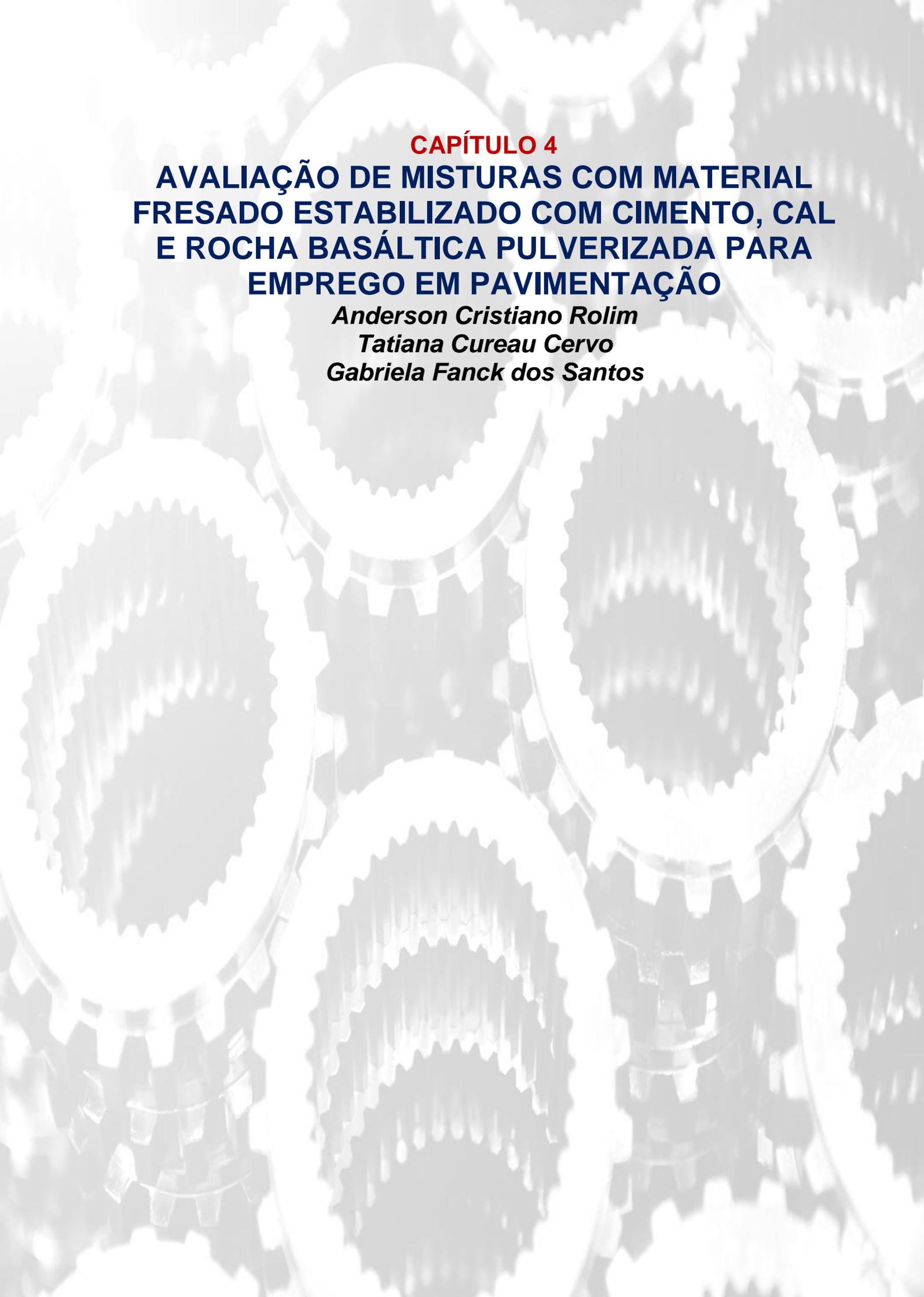
Canto, A. I will run a clash detection for your bim models using Navisworks. Disponível em: < <https://www.fiverr.com/alexscanto/run-a-clash-detection-for-your-bim-models>>. Acesso em: 19 Jul 2021.

Eastman, C.; Sacks, R.; Teicholz, P.; Liston, K. BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers. 2ª Ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. 2011.

Ferreira, E. A. M.; Matos, F. D.; Garcia, M. S. Avaliação do Processo de Modelagem da Edificação e do Canteiro de Obras no Desenvolvimento de Projetos 4D. In: XIV ENTAC - ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2012, Juiz de Fora. p. 3558 - 3563.

Santos, V. Controle de Projetos. 2017. Disponível em: <<https://www.fm2s.com.br/controle-de-projetos/#:~:text=Controle%20de%20projetos%20%C3%A9%20todo,os%20resultados%20de%20um%20projeto.>>. Acesso em: 26 Mar 2021.

SPBIM. 2020. Disponível em: <<https://company.spbim.com.br/o-que-e-o-clash-detection/>>. Acesso em: 19 jul 2021.



CAPÍTULO 4
**AVALIAÇÃO DE MISTURAS COM MATERIAL
FRESADO ESTABILIZADO COM CIMENTO, CAL
E ROCHA BASÁLTICA PULVERIZADA PARA
EMPREGO EM PAVIMENTAÇÃO**

Anderson Cristiano Rolim

Tatiana Cureau Cervo

Gabriela Fanck dos Santos

AVALIAÇÃO DE MISTURAS COM MATERIAL FRESADO ESTABILIZADO COM CIMENTO, CAL E ROCHA BASÁLTICA PULVERIZADA PARA EMPREGO EM PAVIMENTAÇÃO³

Anderson Cristiano Rolim

Mestre em Engenharia Civil, Professor da E. T. Estadual 25 de Julho-Ijuí/RS e Engenheiro Civil da Prefeitura Municipal de Ijuí/RS, Brasil, anderson_017@hotmail.com

Tatiana Cureau Cervo

Professora da Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Santa Maria - RS, Brasil, cervo.tatiana@gmail.com

Gabriela Fanck dos Santos

Mestranda do Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Santa Maria - RS, Brasil, gabbi1112@hotmail.com

Resumo: A busca pela utilização do material fresado ou Reclaimed Asphalt Pavement, oriundo da manutenção de pavimentos asfálticos, está em foco no mundo acadêmico. Sua utilização como agregado em substituição ao material virgem, diminuiria custos e o impacto ambiental para novas obras viárias. Para tanto, é necessário avaliar os parâmetros de resistência mecânica desse material em misturas que substituem o agregado natural pelo RAP. Assim para o uso do fresado, este trabalho utilizou a estabilização química com adições de cimento Portland e cal, e a estabilização granulométrica através de uma curva definida em norma. Os percentuais de cal adotados foram de 3% e 6%, e de 4% e 5% para o cimento Portland CP-IV. As energias de compactação usadas foram a normal, intermediária e modificada do protocolo de Proctor. Os ensaios laboratoriais realizados foram de Resistência à Compressão Simples (RCS), Resistência à Tração por Compressão Diametral (RTCD), Resistência à Tração na Flexão (RTF) e Módulo de Resiliência (MR). Observou-se ganhos de resistência com acréscimos de percentual de cimento e com a adição da cal. Também ocorreu ganho de resistência com o aumento do grau de compactação. Evidenciado que a utilização do material fresado em substituição ao agregado natural é possível.

Palavras-chave: RAP. Compactação. Resistência. Substituição.

³ 1 Texto completo originalmente publicado no 1º Simpósio Virtual de Práticas de Engenharia Geotécnica, 2021

Abstract: The search for the use of milled material or Reclaimed Asphalt Pavement, originating from the maintenance of asphalt pavements, is in focus in the academic world. Its use as an aggregate to replace virgin material would reduce costs and the environmental impact of new road works. Therefore, it is necessary to evaluate the parameters of mechanical resistance of this material in mixtures that replace the natural aggregate by the RAP. So, for the use of milled, this work used chemical stabilization with additions of Portland cement and lime, and granulometric stabilization through a curve defined in the norm. The lime percentages adopted were 3% and 6%, and 4% and 5% for Portland cement CP-IV. The compression energies used were normal, intermediate and modified from the Proctor protocol. The laboratory tests performed were Simple Compressive Strength (RCS), Diametral Compression Tensile Strength (RTCD), Flexural Tensile Strength (RTF) and Modulus of Resilience (MR). Strength gains were observed with increases in the percentage of cement and with the addition of lime. There was also a gain in strength with the increase in the degree of compaction. Evidenced that the use of milled material in place of natural aggregate is possible.

Keywords: RAP. Compression. Resistance. Replacement.

INTRODUÇÃO

A utilização de materiais descartados ou rejeitos como matéria prima para a construção ou ampliação de obras é uma grande vantagem, pois diminui a extração de material virgem, minimizando o gasto energético na produção e no transporte desses materiais. Está de acordo com a preocupação mundial para a diminuição da emissão de gases como o dióxido de carbono (CO²), além de uma considerável redução de custos tanto no transporte como na produção desses materiais.

Assim, o uso do material fresado em substituição ao agregado natural é uma solução para diminuição de custos e colaborar com a redução da extração de material virgem. Atualmente no Brasil, o emprego de bases granulares é o mais corriqueiro para a construção de pavimentos flexíveis, pois a partir da formação do esqueleto mineral e do travamento interno dos agregados, obtém-se características para o suporte das solicitações do tráfego. A brita graduada simples (BGS) e a brita graduada tratada com cimento (BGTC) apresentam, quando compactadas adequadamente e devidamente enquadradas em faixas granulométricas, grande estabilidade e durabilidade (MOURA, 2013).

Desta forma, as pesquisas relacionadas com a reutilização do *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) vem em busca de relações entre a resistência e a rigidez das misturas com o teor de material cimentante e seu respectivo grau de

compactação, comparando tais resultados, com os obtidos fazendo o uso de material natural, para então construir uma camada de BGS ou BGTC. A procura de parâmetros para correta dosagem, a qual utiliza o material fresado em substituição ao agregado natural, possibilitaria a sua aplicação em camadas de base ou sub-base. As misturas com RAP, trazem a incorporação da rocha basáltica pulverizada a fim de enquadramento em uma curva granulométrica padrão. A adição do material cimentante vem a colaborar para a melhor união entre os agregados (RAP e pó) promovendo a estabilização química, a fim de se garantir a melhor resistência final após a compactação (SILVA, 2018).

De acordo com as revisões bibliográficas, a partir de estudos realizados por outros pesquisadores (MOREIRA, 2006; PASCHE, 2016; SILVA 2018), é necessário a adição de material miúdo no RAP para o devido enquadramento em uma curva granulométrica normatizada. Segundo os autores, os percentuais de 70% material fresado e 30% pó de pedra, formam uma matriz granular consistente, que se enquadra nas normas quanto a formação do esqueleto mineral, ou fica entre os limites de uma curva granulométrica definida em norma. Para Pasche (2016) e Silva (2018) além do enquadramento granulométrico e da estabilização química, é necessário se determinar o grau de compactação e a umidade ótima a serem adotados, os quais afetam diretamente no desempenho final da mistura. Pois, quanto maior o grau de compactação melhores são os resultados de resistência e rigidez.

Isto posto, diversas pesquisas foram realizadas com o intuito de verificar a resistência alcançada com o emprego do RAP em substituição ao agregado britado (SILVA, 2018; PASCHE, 2016; ISOLA, 2013), avaliando parâmetros de quantidade de material fresado, percentuais de material cimentante e grau de compactação. Em resumo, a tabela 1 demonstra os pesquisadores que utilizaram o material fresado e o cimento Portland em seus trabalhos, e os resultados obtidos nos ensaios realizados.

Tabela 1 – Pesquisas realizadas com material fresado

Autor	Ano	Material Cimentante (%)	Compactação	Ensaio (MPa)			
				RCS	RTCD	RTF	MR
Paiva e Oliveira	2010	3 (CPII-E)	Normal e Modificada	0,72 a 2,28	0,1 a 0,45	-	-
Trichês e Santos	2011	3 (CPII-E)	Modificada	0,97 a 4,84	0,21 a 0,71	0,24 a 0,82	-

Pasche	2016	3, 5 e 7 (CP-V)	Normal, Intermediária e Modificada	0,71 a 4,6	0,12 a 0,72	-	5.872 a 11.764
Silva	2018	4, 5 e 6 (CP-V)	Normal, Intermediária e Modificada	1,84 a 5,36	0,2 a 0,8	0,11 a 0,78	4.800 a 11.100
Rolim	2020	4 e 5 (CP-IV) e 3 e cal	Normal, Intermediária e Modificada	0,71 a 4,41	0,08 a 0,8	0,13 a 1,27	2.787 a 12.630

Fonte: Autores (2022)

Por fim, a umidade tem o papel de ajudar na lubrificação e no arranjo dos agregados, como também na hidratação do material cimentante. Na maioria das vezes o grau de compactação ocorre através do protocolo de Proctor, que preconiza a aplicação de uma energia mecânica (pressão, impacto ou vibração) para solo ou outro material. Sendo o resultado desta aplicação de energia, o aumento da massa específica aparente e a redução de vazios do material, conseqüentemente gerando um aumento na resistência ao cisalhamento e redução da permeabilidade e compressibilidade. O protocolo de Proctor estabelece três energias a partir da queda de um peso padrão, sendo elas, a energia Normal, Intermediária e Modificada.

Sendo assim, o objetivo principal neste estudo é avaliar os parâmetros de resistência mecânica de misturas com material fresado estabilizado com pó de pedra e substituição parcial por cimento e cal. Para tanto, foram realizados ensaios laboratoriais de Resistência à Tração por Compressão Diametral (RTCD), Resistência à Tração na Flexão (RTF), Módulo de Resiliência (MR) e Resistência à Compressão Simples (RCS).

MATERIAIS E MÉTODOS

Empregou-se nesta pesquisa a matriz granular de 70% RAP e 30% pó de pedra. O material pétreo utilizado é da região de Ijuí - RS, oriundos de um processo de britagem, e fornecidos por empresas de venda de materiais de construção, sendo os mesmos provenientes da pedreira localizada no Município de Coronel Barros – RS. A mistura de fresado e pó se enquadra na faixa C do DNIT141/2010-ES.

O material fresado asfáltico utilizado foi coletado na latitude de -29.61095° e longitude -52.807809°, a cerca de 8,4 km da cidade de Candelária-RS, na ERS 400. O

RAP, é proveniente de um revestimento confeccionado originalmente a partir da Faixa C da especificação DNIT 031/2006-ES, em sua confecção foi utilizado o ligante asfáltico CAP 50/70. Para determinação do teor de betume e granulometria foram utilizadas as normas DNER-ME 053/94 e DNER-ME 083/1998, sendo o percentual de 5,09% o valor encontrado para o teor de betume, ainda foram realizados ensaios de caracterização do material fresado e natural utilizados nos CPs (granulometria, Rice Test, Abrasão Los Angeles, Equivalência de Areia, Massa Específica).

Para a estabilização química, foi utilizado o cimento Portland CP-IV que possui em sua composição de 15% a 50% de material pozolânico. Os percentuais de cimento adotados foram de 4% e 5%, seguindo as pesquisas desenvolvidas por Pasche (2016) e Silva (2018), para verificação da variação de resistência e rigidez, devido a mudança em percentual do cimento em 1%. A cal utilizada foi do tipo dolomítica CH-II (hidratada), comercialmente chamada de “Primor Extra”. Seguindo recomendações de pesquisas de solos-cal e concretos-cal, utilizando-se os percentuais de 3% e 6% de cal, com variação de 3% desse material. Os tempos de cura adotados foram de 7 e 91 dias, o período inicial como referência para a liberação rápida do trafego e verificação das resistências alcançadas em um curto período de tempo quando utilizado o cimento CP IV. Já para o período de 91 dias, ocorreu para avaliações de resistência e rigidez, devido as reações químicas de hidratação e formação cristalinas entre o cimento CP IV e a cal. A tabela 2 traz a nomenclatura dos copos de prova (CPs). Sendo o primeiro algarismo o percentual de cimento e o segundo o teor de cal.

Tabela 2 – Corpos de prova por mistura

Mistura	Ensaio	Cimento (%)	Cal (%)	Nomenclatura	Cura (dias)
70% fresado e 30% pó de pedra	RCS, RTF e RTCD - MR	4	3	FP4-3(1,8)	7 e 91
				FP4-3(1,9)	7 e 91
				FP4-3(2,0)	7 e 91
			6	FP4-6(1,8)	7 e 91
				FP4-6(1,9)	7 e 91
				FP4-6(2,0)	7 e 91
		5	3	FP5-3(1,8)	7 e 91
				FP5-3(1,9)	7 e 91

			FP5-3 (2,0)	7 e 91
		6	FP5-6(1,8)	7 e 91
			FP5-6(1,9)	7 e 91
			FP5-6(2,0)	7 e 91

Fonte: Autores (2022)

A determinação do grau de compactação (massa específica aparente seca) ocorreu através das três energias do protocolo de Proctor, sendo adotado $1,8\text{g/cm}^3$ para a energia normal, $1,9\text{g/cm}^3$ para energia intermediária e de $2,0\text{g/cm}^3$ para a energia modificada. Ainda devido ao papel fundamental exercido pela umidade, já que a presença da mesma em excesso provoca a separação das partículas da mistura, e sua falta não permite a lubrificação suficiente para a formação mais densa, optou-se pela média das umidades ótimas obtidas nos ensaios de compactação, sendo estas de 5,2%, 4,9% e 4,8%, o valor adotado foi a médias dessas, sendo ele de 5%.

Para a preparação das amostras era verificado a umidade hidrocópica do material a ser empregado (fresado e pétreos) estocados ao ar em baias. De posse da umidade do material calculava-se a quantidade de água necessária para se atingir o percentual definido para a umidade ótima, de acordo com o ensaio de compactação. Para a moldagem dos corpos de prova (CPs), foi obedecido as orientações da NBR 5738/15.

A determinação da quantidade de material empregado por camada foi calculada segundo a massa específica aparente seca para cada energia e do volume do molde. Para obtenção da melhor união entre as camadas, era realizado uma escarificação entre as mesmas, a fim de promover melhor aderência. Para evitar a segregação, os CPs foram mantidos dentro dos moldes, em câmara úmida, durante um período de 48 horas (iniciais). Ainda para efeitos de controle da qualidade dos CPs, foram observadas as orientações de Silva (2018), quanto a Massa específica aparente seca (γ_d) mínima e máxima. Sendo esta, o valor do grau de compactação entre 98,5% a 101,5%, definido como o valor de γ_d efetivamente obtido na moldagem dividido pelo valor de γ_d definido como meta.

Para o teor de umidade foi estabelecido a variação de $\pm 0,5$ percentual, nesta etapa eram coletadas amostras do material utilizado na confecção dos CPs, as quais

eram secas em estufa e verificado o peso inicial e final para se obter o valor em percentual de água.

Durante o programa experimental de ensaios e montagem, foi observado o que prescreve a NBR 5738/15, para concretos, assim foram moldados corpos de prova de 100 x 100 x 400 mm, para Resistência à Tração na Flexão (RTF), de 100 x 61 mm para Resistência à Tração por Compressão Diametral (RTCD) e Módulo de Resiliência (MR). Para a Resistência à Compressão Simples (RCS), foram confeccionados CPs de 100 x 200 mm.

A cura para o período de 7 e 91 dias ocorreu em câmara úmida, um dia antes da realização do ensaio, os CPs eram submetidos a saturação em tanque com água por um período de 24 horas, visando aproximar a condição de saturação.

Para o ensaio de RTCD foi utilizado uma prensa com taxa de deformação vertical controlada de 0,8mm/s, a qual permite a verificação da medida do deslocamento vertical e da carga em função do tempo. A obtenção dos valores de RTCD, dos CPs ensaiados foram gerados através de equação obtida na norma DNIT-ME 136/2010.

O ensaio de Módulo de Resiliência ocorreu em uma prensa hidráulica, modelo Universal Test Machine – UTM 25 da IPC Global, a qual possui um acoplamento de um regulador de tempo e frequência a um pistão central. O ensaio foi realizado segundo a normativa DNIT-ME 134/2010.

As medidas de deslocamento foram realizadas por LVDTs (*Linear Variable Differential Transformers*), os quais determinam o deslocamento diametral recuperável na direção horizontal (nas duas faces do corpo de prova), por meio de aplicação de carga que gera tensão de tração transversal ao plano de aplicação da mesma. Neste ensaio foi aplicada carga a uma frequência de 60 ciclos por minuto, com tempo de aplicação de carga de 0,10 segundo, desta forma tendo 0,90 segundos de repouso ou descarregamento.

O ensaio de RTF ocorreu segundo a NBR 12142/2010, com o rompimento de vigotas de dimensões de 100x100x400mm, através de uma presa hidráulica do tipo Amsler (mesma utilizada no ensaio de RCS).

RESULTADOS E AVALIAÇÕES

Nesta pesquisa se teve como referência a confecção de uma BGTC, que possui os percentuais de 3 e 6% de cimento Portland, sendo recomendado o uso dos cimentos tipo CP-II ou CPV-ARI, devido ao ganho de resistência inicial. Contudo, devido as reações entre o cimento e a cal e do custo, se optou pelo uso do cimento Portland CP-IV. Na análise dos resultados, tornou-se perceptível que mesmo em um curto período de cura, o material cimentante provoca ganho de resistência, que se deve tanto pela presença do cimento como pela ação da cal.

Como referência foram confeccionados corpos de prova com mesmas características (granulométricas, massa específica aparente seca, percentual de material cimentante e tempos de cura) aos elaborados com material fresado, mas com material britado natural, para assim se ter parâmetros de resistência do material fresado com o material empregue tradicionalmente em obras de base ou sub-base de pavimentos rodoviários. Nos valores encontrados nos traços com material britado convencional, foi observado melhor desempenho, contudo semelhantes aos valores dos CPs confeccionados com material fresado e pó. Os valores encontrados para o traço de referência não foram apresentados pois a análise de tais não é foco dessa pesquisa, mas sim os valores de resistência do material fresado para seu uso em pavimentação.

A tabela 3 demonstra os resultados alcançados nos ensaios de resistências para o período de 7 e 91 dias de cura, conforme descrito no capítulo anterior. Os pontos apresentados nas análises dos resultados correspondem a média de três corpos de prova moldados com as mesmas características.

Tabela 3 – Resultados dos ensaios com material fresado e pó de pedra

Cimento	Cal	Massa Específica Aparente Seca (g/cm³)	MPa							
			RCS7	RCS91	RTF7	RTF91	MR7	MR91	RTCD7	RTCD91
4,0	3,0	1,8	0,69	1,29	0,12	0,36	2.937,6	5.400,0	0,07	0,18
			0,69	1,26	0,12	0,32	2.616,0	4.968,6	0,08	0,19
			0,74	1,23	0,15	0,34	2.808,0	4.152,0	0,09	0,19
		1,9	1,01	2,10	0,16	0,54	4.488,0	7.130,3	0,12	0,30
			0,95	2,08	0,17	0,54	4.173,1	8.322,9	0,13	0,32
			1,03	2,05	0,19	0,57	4.200,0	6.478,9	0,13	0,30
	2,0	1,35	3,39	0,19	0,81	6.648,0	9.528,0	0,18	0,55	
		1,51	3,35	0,19	0,79	6.494,4	9.464,5	0,20	0,50	
		1,56	3,29	0,18	0,82	6.072,0	8.894,4	0,19	0,52	
		1,8	0,84	1,47	0,13	0,47	2.746,8	5.594,0	0,08	0,20
			0,82	1,45	0,14	0,45	3.087,9	5.068,8	0,09	0,19
			0,86	1,40	0,16	0,43	3.884,5	5.582	0,10	0,20
4,0	6,0	1,9	1,23	2,36	0,18	0,70	6.873,6	7.848,0	0,14	0,40
			1,22	2,35	0,16	0,70	5.030,4	7.654,5	0,15	0,40
			1,21	2,32	0,16	0,67	3.754,7	7.475,4	0,15	0,42
	2,0	1,84	3,45	0,18	0,98	8.088,0	9.657,6	0,21	0,61	
		1,77	3,42	0,19	0,99	8.073,6	10.920	0,24	0,59	
		1,59	3,55	0,21	0,96	7.608,0	10.728	0,21	0,56	
5,0	3,0	1,8	1,17	1,78	0,16	0,56	3.004,4	6.478,3	0,12	0,32
			1,18	1,80	0,14	0,58	4.714,0	5.902,0	0,11	0,32
			1,37	1,89	0,14	0,53	5.097,0	7.244,9	0,12	0,28
		1,9	1,78	2,65	0,16	0,86	7.682,2	10.194	0,18	0,48
			1,81	2,64	0,19	0,85	4.125,5	9.251,4	0,17	0,49
			1,55	2,90	0,19	0,86	6.676,3	9.282,0	0,17	0,48
	2,0	2,55	3,86	0,21	1,13	8.848,5	12.490	0,27	0,78	
		2,43	3,93	0,22	1,13	8.848,5	12.090	0,27	0,83	
		2,48	3,96	0,24	1,10	8.926,0	11.622	0,27	0,80	
		1,8	1,48	2,10	0,16	0,60	4.786,6	6.510,4	0,12	0,33
			1,47	2,11	0,17	0,68	4.394,0	6.820,6	0,11	0,34
			1,51	2,11	0,17	0,82	5.016,0	7.326,8	0,12	0,35
5,0	6,0	1,9	2,07	3,00	0,21	0,90	6.663,2	10.486	0,19	0,55
			2,25	3,01	0,19	0,93	6.596,9	10.415	0,19	0,56
			2,18	3,42	0,19	0,94	6.930,9	9.698	0,17	0,57
	2,0	2,97	4,16	0,25	1,29	9.751,2	12.662	0,28	0,78	
		3,06	4,58	0,24	1,25	9.511,5	12.755	0,29	0,80	
		2,90	4,50	0,26	1,28	10.123,0	12.472	0,30	0,83	

Fonte: Autores (2022)

O ganho de RCS aos 7 dias pode ser observado tanto pela participação da cal como pela existência do cimento CP-IV. Quando mantido o percentual de cimento e

variando o percentual da cal, de 3% para 6% (FP4-3 entre FP4-6), o ganho de resistência foi de cerca de 16%, assim a cal possibilitou o acréscimo de resistência na mistura. Nos demais traços, pode ser visualizado a mesma tendência de ganho na ordem de 18% (FP5-3 para FP5-6).

Para a verificação do acréscimo de resistência devido à presença do cimento, basta a comparação dentro do mesmo percentual da cal, variando-se apenas o percentual do cimento Portland, sendo esse ganho de aproximadamente de 42% entre o traço de FP4-3 e FP5-3 e de 43% para FP4-6 e FP5-6. Ao comparar o menor percentual de cimento e o maior valor da cal (FP4-6), com o maior percentual de cimento com menor valor da cal (FP5-3), o ganho de resistência devido a presença da cal, torna-se perceptível novamente, pois o valor de resistência diminui para 30% devido ao aumento de percentual da cal em 3%. Assim, evidenciando que tanto com a adição de cimento quanto o incremento da cal, provocam ganho de resistência mecânica nas misturas.

Para o período mais longo de 91 dias, todas as resistências aumentaram consideravelmente em comparação aos 7 dias. No entanto, os ganhos foram menores, entre as misturas analisadas para o mesmo período de cura. Assim, acredita-se que a cal tem maior participação no estágio inicial de hidratação para os primeiros períodos. Para o teor de cimento de 4%, e variação da cal de 3% para 6%, o ganho foi de cerca de 9% (FP4-3 e FP4-6) e para o valor de 5% de cimento teve-se acréscimo de cerca de 13% (FP5-3 e FP5-6).

Ainda para a comparação entre diferentes teores de cimento (FP4-3 e FP5-3), observou-se os percentuais de variação de resistência de 23%, e de 26% para (FP4-6 e FP5-6), tal ganho foi observado por Silva (2018) na variação entre os percentuais de 4%, 5% e 6% de cimento Portland CP-V ARI, quando se variava o percentual de cimento (variação de 1% de cimento Portland CP V – ARI) o acréscimo de resistência ficou entorno de 26%.

Para os demais ensaios foi encontrado variações de ganho de resistência tanto pela mudança de percentual de cal, como pela variação do cimento, no ensaio de RTF, os traços de (FP4-3 e FP4-6) e (FP5-3 e FP5-6), apresentaram ganho de cerca de 6%, e de 10% aos 7 dias iniciais de cura (variação do percentual de cal dentro do mesmo valor de cimento Portland). Já avaliando o percentual de cimento Portland, dentro do mesmo percentual de cal os ganhos foram de 13% entre o traço FP4-3 e FP5-3 e de 17% entre FP4-6 e FP5-6 no estágio inicial de cura.

Contudo, como era esperado, devido as características do cimento CP-IV, o ganho de resistência foi de 70% comparando o traço FP4-3 e do período de cura de inicial (7 dias) com o período de cura final (91 dias). Para o traço de FP4-6 o acréscimo foi próximo aos 75%. Para os demais teores de FP5-3 e FP5-3 os ganhos aos 91 dias de cura foram de 77% e 78%.

O ensaio de RTCD apresentou melhores valores para o período de cura mais longo, o que já era esperado devido ao material cimentante utilizado. Pode-se observar o ganho de resistência quando comparados os valores entre o período de cura inicial com o período final, ocorrendo acréscimo de resistência de 61% para FP4-3. Já para FP4-6, FP5-3 e FP5-6 os valores formam de 62%, 65% e 65%, respectivamente, levando em consideração os valores encontrados no estágio inicial de cura.

O Módulo de resiliência apresentou acréscimos de cerca de 33% para comparação dos 7 e 91 dias de cura. Ainda pode-se destacar o ganho de resistência devido ao grau de compactação adotado. Tal fato foi observado por Pasche (2016) e Silva (2018) em seus experimentos com material fresado, para diferentes teores de cimento e de compactação. Assim pode-se fazer uma comparação, para o traço RF4-3 (2,0g/cm³), se comparado ao traço RF5-6 (1,8g/cm³), independente do tempo de cura (7 e 91 dias). Para o menor teor de material cimentante, os resultados dos ensaios realizados foram melhores (maiores resistências), demonstrando que o material cimentante não é o único fator de garantia do acréscimo de resistência, pois para obter valores de resistência consideráveis, deve-se levar em consideração o grau de compactação adotado.

Desta forma, o arranjo granulométrico e a umidade para a compactação são pontos importantes para a melhoria dos resultados em uma obra de pavimentação que utilize materiais cimentantes e granulares.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A substituição do agregado natural pelo material fresado em obras de pavimentação, pode ser um fator importante para execução de novas obras, diminuindo valores referentes ao transporte de material e da extração de agregados virgens da natureza. A avaliação dos valores encontrados torna aceitável seu uso, pois os mesmos, se aproximaram a de outros pesquisadores conforme consta na

tabela 1 e se assemelham aos resultados obtidos com o material de referência ou material britado natural. Ainda, estão dentro das recomendações do DNIT 167/13, pois possuem valores entre 0,25 – 0,35 MPa para RTCD e de 2,1 – 2,5 MPa para RCS, assim sendo, possível sua execução. Contudo, é necessário o controle tecnológico no traço adotado, desta forma tendo certeza que a nova base do pavimento suportará as solicitações do tráfego.

Para o período mais longo de cura, o RAP apresentou um melhor desempenho, semelhante ao encontrado por outros pesquisadores, alcançando valores satisfatórios em relação a normativa vigente e que propiciam o uso desse material como agregado para construção de base de pavimentos viários.

Já para o período de cura inicial de 7 dias, seu uso deve ser de acordo com as características e as solicitações do tráfego, assim deve-se adotar um grau de compactação adequado e de acordo com tais solicitações. Além disso, as adições de material cimentante devem ser condizentes e a resistência desejada em relação ao prazo para liberação do tráfego, deve ser considerada. Ressalta-se que o aumento do grau de compactação provoca um crescimento significativo em relação a RCS, RTF e RTCD, maior que o incremento de material cimentante, desta forma a compactação é fundamental para se atingir a resistência mínima desejada em norma.

Outro fator de suma importância é a união entre os agregados da mistura, que ocorre devido à granulometria correta (formação do esqueleto pétreo), juntamente com a adição de materiais cimentícios, provocando grande melhoria na ligação entre as partículas constituintes desta mistura. A massa específica aparente seca obtida através da compactação, melhora ainda mais essa união, evidenciando que a mesma é também um fator importantíssimo para o ganho de resistência.

Por fim, é perceptível a necessidade do controle da umidade adotada, já que esta atua na melhoria do entrosamento do agregado, funcionando como lubrificante na compactação e, ao mesmo tempo, possibilitando a hidratação do agente cimentante existente na mistura. Sendo assim, pode-se ponderar que a utilização do material fresado em substituição ao agregado natural é aceitável e exequível, desde que seja corretamente enquadrado na curva padrão, devidamente dosado e corretamente compactado. Desta forma, a nova camada de base do pavimento asfáltico possuirá resistência e características adequadas para o suporte ao tráfego, semelhantes, ou até melhores que uma camada de base convencional.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2010). NBR 12142: **Concreto - Determinação da Resistência a Tração em Corpos de Prova Prismáticos**. 5 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015). NBR 5738: **Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto**. 8 p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1994). DNER-ME 053/94: **Misturas betuminosas – percentagem de betume**. 5 p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1998). DNER-ME 083/98: **Agregados – análise granulométrica**. 5 p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE (2006). DNIT-ES31/06: **Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico** – Especificação de serviço. 14 p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE (2010). DNIT-ES 141/10: **Pavimentação asfáltica – Base estabilizada granulometricamente** – Especificação de serviço. 9 p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE (2010). DNIT-ME 136/10: **Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas - Determinação da resistência à tração por compressão diametral** – Método de ensaio. 6p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE (2013). DNIT-ME 167/13-ME: **Reciclagem profunda de pavimentos “in situ” com adição de cimento Portland** – Especificações de Serviço. 11p.
- ISOLA, M. (2013). **Evaluation of cement treated mixtures with high percentage of reclaimed asphalt pavement**. Construction and Building Materials, v. 48, p. 238-247.
- MOREIRA, J. P. V.; GOMES CORREIA, A.; PEREIRA, P. (2006). **Contribuição para a reutilização de material fresado em camadas estruturais de pavimento**. In: 10º Congresso Nacional de Geotecnia - Geotecnia multidisciplinar: estudos, Lisboa, v. 2, p. 439-448.
- MOURA, E. (2010). **Estudo de deformação permanente em trilha de roda de misturas asfálticas em pista e em laboratório**. Universidade de São Paulo – USP. São Paulo, Curso de Pós-Graduação e Em Engenharia Civil. 299p.
- PAIVA, C. E. L.; OLIVEIRA, P. C. A. (2010). **A importância do controle de compactação no desempenho da camada reciclada com cimento Portland**. In: CONINFRA 2010 – 4º CONGRESSO DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – Anais. São Paulo. 16 p.

PAIVA, C. E. L.; OLIVEIRA, P. C. A. (2014). **Impacto da atividade do CAP e do percentual de asfalto fresado na resistência à fadiga de uma base reciclada com cimento**. In: 21ª Encontro do Asfalto. Rio de Janeiro. 15p.

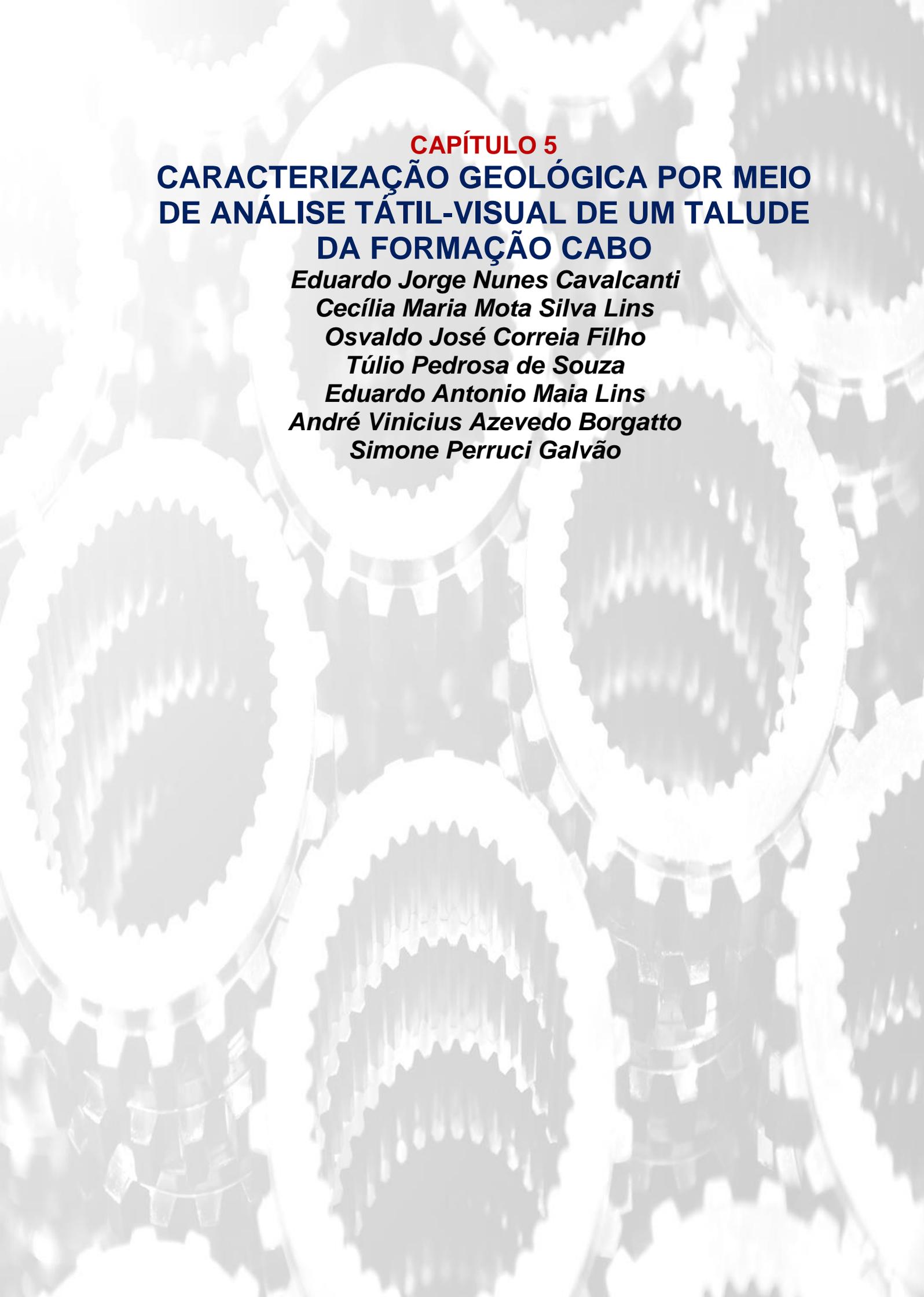
PASCHE, E. (2016). **Estudo da rigidez e resistência de uma mistura de material fresado asfáltico e pó-de-pedra com a adição de cimento**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 170p.

ROLIM, A. C. (2020). **Avaliação de parâmetros de resistência mecânica de material fresado estabilizado com cimento Portland, cal e rocha basáltica pulverizada para emprego em pavimentação**. Universidade Federal De Santa Maria. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 165p.

SILVA, M. R (2018). **Determinação de parâmetros que influenciam nas propriedades mecânicas de material fresado estabilizado granulometricamente e quimicamente para emprego em pavimentação**. Universidade Federal de Santa Maria. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 139p.

TRICHÊS, G.; SANTOS, A. (2011) **Avaliação do desempenho da reciclagem do pavimento da rodovia SC-303**. In: 7º Congresso Brasileiro de Rodovias & Concessões – Anais. Foz do Iguaçu. 15 p.

TRICHÊS, G.; SANTOS, A. (2013). **Desempenho da reciclagem com adição de cimento da rodovia SC-150**. In: 42ª Reunião Anual de Pavimentação – Anais. Gramado. 13 p.



CAPÍTULO 5
**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA POR MEIO
DE ANÁLISE TÁTIL-VISUAL DE UM TALUDE
DA FORMAÇÃO CABO**

Eduardo Jorge Nunes Cavalcanti

Cecília Maria Mota Silva Lins

Oswaldo José Correia Filho

Túlio Pedrosa de Souza

Eduardo Antonio Maia Lins

André Vinicius Azevedo Borgatto

Simone Perruci Galvão

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA POR MEIO DE ANÁLISE TÁTIL-VISUAL DE UM TALUDE DA FORMAÇÃO CABO

Eduardo Jorge Nunes Cavalcanti

Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho, e.nunes.du@gmail.com. Graduando do curso de Engenharia Civil e do curso de Tecnólogo em Construção Civil - Edificações pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) - Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho (UACSA). Pesquisador do grupo de pesquisa GeoTec/Uacsa, tem como foco desenvolver estudos na área de Engenharia Civil, com ênfase nos aspectos relacionados com a geotecnia, tecnologia da construção civil e meio ambiente abordando problemas práticos da engenharia.

Cecília Maria Mota Silva Lins

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Tecnologia Rural, cecilia.lins@ufrpe.br. Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (2005). Mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, na área de Geotecnia (2008). Doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, na área de Geotecnia (2014). Atualmente é professora adjunta da Universidade Federal de Pernambuco (UFRPE), Departamento de Tecnologia Rural. Coordenadora do Grupo de Pesquisa em Geotecnia e Tecnologia da Construção - GeoTec da UACSA/UFRPE. Participante do CITAR (Centro de Inovação Tecnológica Aplicada aos Recursos Naturais) e do LMCG/UFPE (Laboratório de Métodos Computacionais em Geomecânica). Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em geotecnia e meio ambiente, atuando principalmente nos seguintes temas: mecânica dos solos e rochas, interação rocha-fluido, geotecnia ambiental, geomecânica de reservatórios, tratamento de lixiviado, resíduos sólidos e ações mitigadoras.

Oswaldo José Correia Filho

Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Geologia, osv.correia@gmail.com. Geólogo graduado pela Universidade Federal de

Pernambuco - UFPE (2014). Foi bolsista de graduação do programa de iniciação científica PRH-26/ANP, entre 2013 e 2014. Concluiu o mestrado em 2017 pelo Programa de Pós-Graduação em Geociências na área de geologia estrutural e geofísica aplicada. Durante dois anos do período de desenvolvimento do doutorado, foi professor substituto de mineralogia do departamento de Geologia da Universidade Federal de Pernambuco. Também ministrou cursos de curta duração sobre geoprocessamento e geotecnologias para alunos da graduação e pós-graduação do mesmo departamento. A tese de doutorado foi finalizada no início de 2022, na mesma instituição de conclusão da dissertação de mestrado, e foi fundamentada na interpretação sísmica voltada para análise estrutural, com foco nos processos neotectônicos que afetaram a margem nordeste brasileira e domínios de crosta oceânica adjacente. Possui experiência nas áreas de geofísica, geologia estrutural, sedimentologia, estratigrafia e geotecnologias.

Túlio Pedrosa de Souza

Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho, tulio_pedrosa@hotmail.com. Graduando do curso de Engenharia Civil pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho (UACSA). Membro do Grupo de Pesquisa em Geotecnia e Tecnologia da Construção - GEOTEC na UFRPE.

Eduardo Antonio Maia Lins

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Universidade Católica de Pernambuco, eduardomaialins@gmail.com. Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade de Pernambuco (2000). Especialista em Gestão Ambiental pela Universidade de Pernambuco (2012), tendo obtido os títulos de Mestre (2003) e Doutor (2011) nos anos anteriores pela Universidade Federal de Pernambuco onde se especializou em Geotecnia Ambiental. Atualmente é Professor do Instituto Federal de Pernambuco (Campus Recife), onde coordena o Grupo de Poluição e Contaminação Ambiental do IFPE, lotado no departamento de Saneamento. Também leciona na Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP) no departamento de Engenharia Ambiental, Química, Ciências Biológicas e Civil, onde também é coordenador do Curso de Especialização "Gestão e Controle de Áreas Contaminadas por Resíduos Sólidos". Professor permanente do Mestrado do

Instituto Tecnológico de Pernambuco (ITEP) na área de gestão de resíduos sólidos e contaminação ambiental, tendo concluído curso "Municipal Solid Waste Management in Developing Countries" pela École Polytechnique Fédérale de Lausanne da França. Perito Ambiental na área de Contaminação e Remediação de áreas contaminadas por resíduos sólidos.

André Vinicius Azevedo Borgatto

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho, andre.borgatto@ufrpe.br. Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Viçosa em 1999, atualmente é Professor do Magistério Superior na Universidade Federal Rural de Pernambuco - UACSA. Possui pós-graduação em Gestão Ambiental pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, em 2003 e mestrado em Engenharia Civil - Geotecnia pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia - COPPE/UFRJ em 2006. Em 2010, conclui o doutoramento em Engenharia Civil - Geotecnia Ambiental, realizado em regime sanduíche entre o Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia - COPPE/UFRJ e a universidade Alemã Technische Universität Braunschweig. Como engenheiro, atuou na coordenação de diversos projetos e obras, com maior destaque ao seguimento de construção civil pesada, implantação industrial e instalações portuárias. Possui larga experiência com projetos nos setores públicos e privados, com destaque às indústrias do setor de óleo & gás e farmacêutico. Na academia, tem como principais linhas de interesse em pesquisa e extensão as áreas de conhecimento da geotecnia clássica e ambiental bem como a gestão de projetos e obras. Possui atuação em temas como gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, análise de estabilidade, sistema de disposição e tratamento de resíduos, instrumentação e monitoramento geotécnico, terraplenagem e fundações. Possui também experiência na coordenação de curso de Pós-Graduação onde esteve na condução, por mais de 03 anos, do curso de Engenharia Ambiental e Saneamento Básico na Universidade Estácio de Sá no Recife.

Simone Perruci Galvão

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho, simone.galvao@ufrpe.br. Possui graduação em Engenharia Civil pela

Universidade Católica de Pernambuco (1999), mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Goiás (2004) e doutorado em ciências de materiais pela Universidade Federal de Pernambuco (2010). Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Materiais e Componentes de Construção, atuando principalmente nos seguintes temas: argamassas de reparo, concreto, resíduos de construção e demolição, polímeros, cimento, adições minerais, técnicas de caracterização microestrutural e RMN (Ressonância Magnética Nuclear).

RESUMO: O setor sul da Região Metropolitana do Recife é caracterizado por rochas do embasamento cristalino, sequência vulcano-sedimentar cretácea e depósitos cenozoicos relacionados a Formação Barreiras e sedimentos Pós-Barreiras. Dentre estas formações, destaca-se a Formação Cabo onde predominam os conglomerados polimíticos arredondados. Sua característica polimítica oferece grande diversidade de rochas graníticas, com minerais de diferentes tamanhos e disposições. Embasado neste contexto, o trabalho tem como objetivo a determinação geológica por meio de uma análise tátil-visual de um talude localizado no município de Cabo de Santo Agostinho. O estudo dividiu o talude com extensão de 21,3 metros em 4 perfis, espalhados igualmente. As amostras foram identificadas levando em consideração as diferentes características mineralógicas visíveis e foram medidas suas dimensões em relação aos perfis para a determinação de uma análise estatística da presença dos clastos no talude. O afloramento está relacionado as porções proximais dos leques aluviais da Formação Cabo, compostas por paraconglomerados polimíticos, de granitos finos e grossos, migmatitos, gnaisses e raros, com blocos bem arredondados de diâmetros variados. A determinação feita das coordenadas geológicas do Talude, que, em contraste com as fraturas e falha, mostra a ação geológica estrutural presente em literatura, caracterizado pela presença da Bacia Interna a qual o Cabo se localiza. **Palavras-chave:** Formação Cabo. Características Mineralógicas. Tátil-Visual. Conglomerados.

ABSTRACT: The southern sector of the Recife Metropolitan Region is characterized by crystalline basement rocks, Cretaceous volcano-sedimentary sequence and Cenozoic deposits related to the Barreiras Formation and after Barreiras sediments. Among these Cabo formations where polymitic conglomerates predominate, stands out. Its polymitic characteristic is a great diversity of granitic rocks, with minerals offering different sizes and dispositions. Based on this context, the work aims at a geological determination through a til-visual analysis of a slope located in the municipality of Cabo de Santo Agostinho. The study divided the slope with an extension of 21,3 meters into 4 profiles, the same as well. The selected measures were selected taking into account the different mineralogical characteristics and their dimensions were selected in relation to the determination of a statistic of the evaluation of the clasts not presented. The outcrop is referred to as portions close to the alluvial fans of the Cabo Formation, composed of polymitic paraconglomerates of fine and thick granites, migmatites, gneisses and rare, with well-rounded blocks of varying diameters. The determination made of the geological coordinates of the Slope, present in contrast to the fractures and faults, shows a structural geological action,

characterized by the presence of the Inner Basin in which the Cabo is located.

Keywords: Cabo Formation. Mineralogical Characteristics. Tactile-Visua. Conglomerates.

1 INTRODUÇÃO

Segundo Botinas (2017) a construção em terra é uma técnica milenar, utilizada por várias civilizações por todo o mundo, estimando-se que uma parte considerável da população mundial viva em casas que usam o solo como material de construção. No âmbito da engenharia civil, a terra ou solo é definido como um agregado não cimentado de grãos minerais e matéria orgânica decomposta, com líquido e gás preenchendo os espaços vazios existentes entre as partículas sólidas (DAS, 2014).

O solo pode ser usado no seu estado natural ou como material de construção e essa flexibilidade o torna um dos elementos mais importantes na indústria da construção civil. Em sua condição natural, poderá ser usado como elemento de suporte de uma estrutura. Por se tratar de um material de formação natural, apresenta características provenientes das suas estruturas de formação, sendo originadas da rocha a qual sofreu com intempéries e erosão até chegar na sua constituição atual.

Com a finalidade de viabilizar o seu uso em obras, os engenheiros civis devem estudar as suas propriedades e o seu comportamento geomecânico. O estudo geotécnico é o conjunto de atividades que auxiliam na obtenção das informações geológicas e geotécnicas do terreno, necessárias para o desenvolvimento de um projeto e ajudam a prevenir acidentes causados pelo deslocamento de solos.

Com muita frequência, é necessário descrever o solo sem dispor de resultados de ensaios laboratoriais, seja porque o projeto não justifica economicamente a realização destes ensaios, seja porque a obra está em fase preliminar de estudos na qual os ensaios laboratoriais não são disponíveis. (PRADO, 2018).

Segundo Massad (2016) antes do início de qualquer ensaio de laboratório, deve-se primeiramente examinar a amostra a ser utilizada e oferecer sucinta classificação do solo por meio de uma descrição das condições em que a amostra se encontra. Isso deve ocorrer por motivos como auxílio para a interpretação dos resultados a serem obtidos em laboratório e servir de base para comprovação dos resultados.

Neste contexto, o estudo consiste na análise tátil-visual de um talude da Região Metropolitana do Recife, em específico localizado no município do Cabo de Santo Agostinho, para a determinação da sua Formação Geológica e determinação de características mineralógicas provenientes da análise inicial.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A Região Metropolitana do Recife (RMR) compreende um conjunto de 15 municípios, Abreu e Lima, Araçoiaba, Cabo de Santo Agostinho, Camaragibe, Igarassu, Ipojuca, Itapissuma, Itamaracá, Jaboatão dos Guararapes, Moreno, Olinda, Paulista, Recife, São Lourenço da Mata e Goiana. Limita-se pelas coordenadas: - 8° 04' 03" de latitude Sul e - 34° 55' 00" de longitude Oeste. Essa área distribui-se em uma faixa alongada no sentido norte-sul muito urbanizada e com diversos problemas socioeconômicos-ambientais ligados ao seu processo de ocupação (BARRETO, 2016).

Geologicamente a RMR é caracterizada por rochas do embasamento cristalino Pré-Cambriano, representadas pelos complexos Gnáissico-Migmatítico, Belém do São Francisco e Vertentes, além de granitóides indiscriminados. Há também rochas vulcânicas como riolitos, basaltos e vucanoclásticas – nos municípios do Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca- relacionadas a Suíte Magmática de Ipojuca (SMI), aflorantes e/ou recobertos por sedimentos cretáceos ao longo da faixa costeira da Bacia de Pernambuco (BPE) (PFALTZGRAFF, 2003).

O foco principal de estudo do presente trabalho é a Formação Cabo, caracterizada por Almeida et. al. (2005) por sistemas de leques aluviais que acompanham as falhas de borda. Estes sistemas são compostos por conglomerados polimíticos e polimodais, contendo seixos e matacões de rochas do embasamento cristalino nas porções mais distais, por arenitos médios a grossos depositados por fluxos de alta densidade.

A Formação Cabo, por sua vez faz parte da Bacia Cabo, mais recentemente denominada por Bacia de Pernambuco, é constituída por conglomerados e argilitos da Formação Cabo, os quais se encontram parcialmente cobertos ou cortados por rochas vulcânicas da Formação Ipojuca (riolitos, traquitos e basaltos) e interrompidos pelo granito do Cabo de Santo Agostinho (ALHEIROS, 2003).

A Formação Cabo englobava todos os depósitos siliciclásticos basais da coluna sedimentar da Bacia de Pernambuco, que foram desmembrados em três unidades estratigráficas distintas (BARBOSA et al., 2009; MAIA et al., 2011; MAIA, 2012). Esse desmembramento levou em consideração aspectos sedimentológicos, estratigráficos e geoquímicos relacionados às diferentes fases evolutivas da bacia, necessárias para embasar a diferenciação entre as unidades Cabo, Suape e Paraíso, caracterizados anteriormente como uma única unidade litoestratigráfica da Bacia de Pernambuco (ALHEIROS, 1987; NÓBREGA, 1995; LIMA FILHO, 1998, CÓRDOBA et al. 2007).

A Formação Cabo foi depositada entre o Alto do Maragogi e a Zona de Cisalhamento de Pernambuco e está posicionada sobre um rifte estreito que forma uma bacia interna separada da região *offshore*, por um alto estrutural externo, denominado Alto do Maracatu, possuindo forma alongada paralela ao eixo de abertura da bacia (ALVES e COSTA, 1986; LIMA FILHO, 1998; ALMEIDA et al., 2005; BARBOSA & LIMA FILHO, 2006).

O início da abertura da BPE ocorreu durante o Barremiano-meso-Albiano e foi marcado pela deposição de unidades sedimentares de origem continental relacionadas a Formação Cabo (ALMEIDA, 2003; MAIA, 2012; BARBOSA ET AL., 2014). Está subdividida em três unidades: uma unidade basal conglomerática, sotoposta a uma sequência intercalada entre arenitos arcossianos e argilitos micáceos, sobre a qual repousa o conglomerado superior.

Segundo Lima Filho (1994), podem ser distinguidas nesta formação as fácies proximal, mediana e distal, cada uma mostrando características próprias no que se refere à litologia e ao ambiente em que foram formadas. Na fácies proximal predominam conglomerados polimíticos, com granulometria variada, depositados em leques aluviais por fluxo muito denso.

Dispersos numa matriz arcoseana ocorrem clastos de granitos (mais abundantes), migmatitos, gnaisses e biotita xisto. A fácies? mediana é também considerada como depósitos de leque aluvial, porém devido a uma queda da força hidráulica no ambiente deposicional, houve uma perda de capacidade em depositar os componentes maiores, sendo esta a razão pela qual predominam aí arenitos conglomeráticos arcossianos, com estratificação cruzada.

A fácies distal, de acordo com Alheiros (1990), está relacionada a um ambiente lacustre e encerra arcóseos, siltitos, argilitos e folhelhos.

Durante o Albiano foi depositada a Formação Suape que compreende argilitos e arenitos intercalados com as rochas vulcânicas da SMI (BARBOSA et al., 2014; MAIA, 2012; MAIA et al., 2012). Sobre a Formação Suape foi depositada a Formação Paraíso, bem representada pela sua seção-tipo localizada na Praia de Guadalupe/Sirinhaém. Corresponde à arenitos médios a finos intercalados com argilitos e folhelhos intensamente bioturbados depositados em um ambiente marinho transicional (BARBOSA et al., 2014; CORREIA FILHO, 2017).

A sedimentação marinha franca é representada pelos calcários margosos e dolomitizados da Formação Estivas (Cenomaniano-Turoniano) (TOMÉ et al., 2006), na faixa costeira da BPE, esta formação aflora de maneira muito restrita na região da praia de Porto de Galinhas/Ipojuca. Por fim, recobrando a sedimentação cretácea e o embasamento adjacente a BPE, ocorrem a Formação Barreiras e os sedimentos Pós-Barreiras (ROSSETTI et al., 2011; BEZERRA et al., 2014).

Dentre as pesquisas da Formação Cabo destaca-se os estudos realizados por Alheiros (1989), onde são detalhadas as características desta formação, sendo assim uma referência importante para obter um melhor entendimento da Formação Cabo.

Segundo Alheiros (1989), os conglomerados da Formação Cabo são polimíticos (caracterizado pela presença de clastos de granitos finos e grossos, migmatitos, gnaisses e raros micaxistos grossos), com blocos bem arredondados de diâmetros variando de poucos centímetros até quase 2 metros em uma matriz friável escassa de composição arcosiana visível em escala macroscópica.

Voltando-se para a escala microscópica é determinado a existência de uma “matriz da matriz”, constituída por material pelítico e palhetas de micas de dimensão inferior a 30 microns, que foi denominada de pseudomatriz filossilicática, para distingui-la da observada em escala macroscópica (ALHEIROS, 1989).

Tanto os clastos quanto a matriz apresentam uma composição típica de rochas graníticas em que a microclina, apesar de alterada, apresenta-se em geral bem formada com geminação polissintética cruzada bem definida, indicando provir de rochas graníticas; o quartzo é policristalino e mostra-se com aspecto límpido, enquanto as biotitas apresentam-se desferrificadas e expandidas em leques, indicando intensa hidratação; ocorrem ainda moscovita, zircão, hornblenda e opacos em pequena quantidade. Os plagioclásios são raramente identificados e podem constituir parte dos grãos irreconhecíveis em avançado estágio de argilização e que vão sendo incorporados à pseudomatriz filossilicática. Esta, por sua vez, mostra

argilas associadas a lamelas e feixes de fibras de sericita e hidromica (illita), intensamente impregnadas por óxido de ferro. Levando em consideração os estudos de Folk (1974), a matriz do conglomerado foi classificada como arcósio imaturo ferrífero (ALHEIROS, 1989).

O estudo petrográfico realizado por Alheiros (1989) mostrou que os clastos e a matriz do conglomerado são composicionalmente muito semelhantes, porém guardam significativa diferença no que se refere aos aspectos texturais: enquanto os blocos de diferentes granulações são bem arredondados e com alta esfericidade, a matriz é fragmentar angulosa e imatura. A semelhança composicional indica uma mesma fonte para blocos e matriz e o caráter imaturo desta última demonstra um curtíssimo transporte, insuficiente para o arredondamento dos clastos. Esse arredondamento dos blocos do conglomerado foi atribuído por Mabesoone (1971) a processos sedimentológicos em ambiente litorâneo escarpado, admitindo processos de alta energia que permitissem o arredondamento de clastos de até quase 2 metros de diâmetro. O forte gradiente topográfico de deposição dos leques aluviais da Formação Cabo pode ter sido favorecido pela presença das falhas de borda da BPE que apresentam direção preferencial NE-SW e NW-SE (POLÔNIA, 1997; LIMA FILHO, 1998; CORREIA FILHO, 2017).

As fácies proximal ou supraleque, que corresponde a parte apical das cunhas clásticas, é encontrada na porção norte da área, ocupando as topografias mais elevadas do lado sedimentar, incluindo o morro onde está implantada a cidade do Cabo, associada a falhas normais de direção aproximada N10°E (ALHEIROS, 1989). É constituída por conglomerados polimíticos grossos, com blocos de granulometria muito variada, de seixos a matacões, praticamente desprovidos de matriz, depositados a partir de fluxos de detritos. Apesar da proximidade da área-fonte, este conglomerado mostra blocos bem arredondados pela intensa esfoliação esferoidal. Na fácies de leque mediano, o conglomerado apresenta uma estrutura mais organizada, em que seixos mais alongados se orientam com os maiores eixos na horizontal e ligeira imbricação, indicando movimento do agente transportador de W para E, e foi depositado por processos de torrentes em lençol, em regime de fluxo de alta energia, localmente acanaladas (ALHEIROS, 1989). Sobre esses conglomerados instalam-se canais preenchidos por arcósios portando pequenos blocos de mesma composição dos do conglomerado ora dispersos de modo caótico, ora mais organizados, representando o início da construção de um sistema fluvial anastomosado pouco

desenvolvido. A fácies de leque distal ocorre de modo restrito na área mais litorânea da porção norte (estrada para Gaibu) e sul (Sirinhaém), constituída por arcósios conglomeráticos, estruturados sob a forma de camadas lateralmente contínuas (ALHEIROS, 1989).

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Para o desenvolvimento da pesquisa foram coletadas amostras em um talude (Figura 1) no dia 11/03/2020, localizadas próximo as instalações provisórias da Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho (UACSA/UFRPE), na Rodovia Armínio Guilherme, nº 2685, no bairro Garapu, próximo à rodovia PE-60, com as coordenadas 8°18'08"S e 35°01'23" W.

As amostras foram coletadas levando em consideração a composição geológica das rochas formadoras dos clastos onde estão os saprólitos, já que é perceptível, em sua maioria, a divisão deles.

O sistema de coleta de amostras seguiu a distribuição nos perfis no saprólito, determinados de acordo com a extensão do talude, sendo 4 perfis espalhados em uma distância média de 5 m, sendo a extensão do talude de cerca de 21,3 m (Figura 2). As amostras foram identificadas inicialmente com as letras ET seguida de uma numeração (01,02,03,04,05) levando em consideração as diferentes características determinadas pela análise tátil-visual e medidas as dimensões dos clastos em relação ao perfil para a determinação de uma análise estatística da presença dos clastos em relação ao perfil total do talude. Por se tratar de uma análise geológica, é levado em consideração o tamanho da frente do clasto que aparece no talude em relação a extensão dele. Algumas amostras receberam nomenclaturas diferentes por causa do seu papel ou composição mineralógica.

Figura 1 - Visão de satélite da localização do local estudado.



Fonte: Google Earth, 2020.

O Talude foi inicialmente identificado, onde foram obtidas as coordenadas geológicas, a direção, o mergulho e o sentido desse mergulho. A direção é dada pelo ângulo entre a linha N-S (verdadeiro) e a linha de interseção do plano geológico com o plano horizontal, já o mergulho é definido pelo ângulo diedro entre o plano geológico e o plano horizontal, e pelo quadrante para o qual mergulho o plano. O rumo ou sentido desse mergulho é a direção da máxima declividade em relação ao Norte Geográfico.

A orientação geológica serve para conhecer a disposição espacial do plano em relação ao plano horizontal e à linha meridiana N-S verdadeiro.

As amostras coletadas passaram pelo processo de caracterização geológica a partir de uma análise tátil-visual, onde foram separadas de acordo com a sua composição mineralógica e granulométrica, retiradas em cada um dos perfis realizado no talude. As amostras auxiliaram a caracterizar o talude quanto a presença dos clastos, quanto a quantidade, as granulometrias e mineralogia, com o desenvolvimento de dados estatísticos quanto a sua presença em relação ao talude.

A presença de falha e de fraturas foram observadas, com isso foram determinadas a sua direção, intensidade de mergulho e o sentido.

4 ANÁLISE DE DADOS

A partir do levantamento de campo, foi verificado visualmente que o talude apresenta distintos clastos espalhados de forma em que os maiores estão localizados na parte inferior e os menores na parte superior. A presença de clastos e a sua

característica (polimítica) heterogênea é bem característica dos conglomerados da Formação Cabo (Figura 2).

Figura 2 - Retirada de medições entre perfis.



Fonte: Autor.

A figura 3 a seguir detalha a característica arredondada dos clastos e a heterogeneidade. É possível verificar as diferentes colorações dos clastos que são provenientes das suas distintas composições mineralógicas.

Figura 3 - Detalhes talude estudado (a) Natureza arredondada dos clastos; (b) Distintas composições mineralógicas.



(a)

(b)

Fonte: Autor.

O talude, que é demonstrado na Figura 4, em toda sua extensão, teve sua direção medida como 215° Az, sendo Nordeste/Sudoeste e seu sentido de mergulho como Noroeste. É possível visualizar uma mudança na característica das rochas que compõem o conglomerado, no lado esquerdo do talude elas são maiores, com coloração mais distintas, mais fácil de classificar, já no lado direito as rochas possuem dimensões menores, com coloração mais avermelhada/alaranjada em quase todas, devido as rochas nesse ponto sofreram mais alterações pelas ações do intemperismo, o que pode significar que essa área estava a mais tempo exposta do que o lado esquerdo do talude. É possível verificar também o contato entre o saprólito representante da Formação Cabo e um pequeno afloramento de solo proveniente de rochas de origem vulcânica da Formação Suape, que causa desgaste no conglomerado, determinado pela linha laranja.

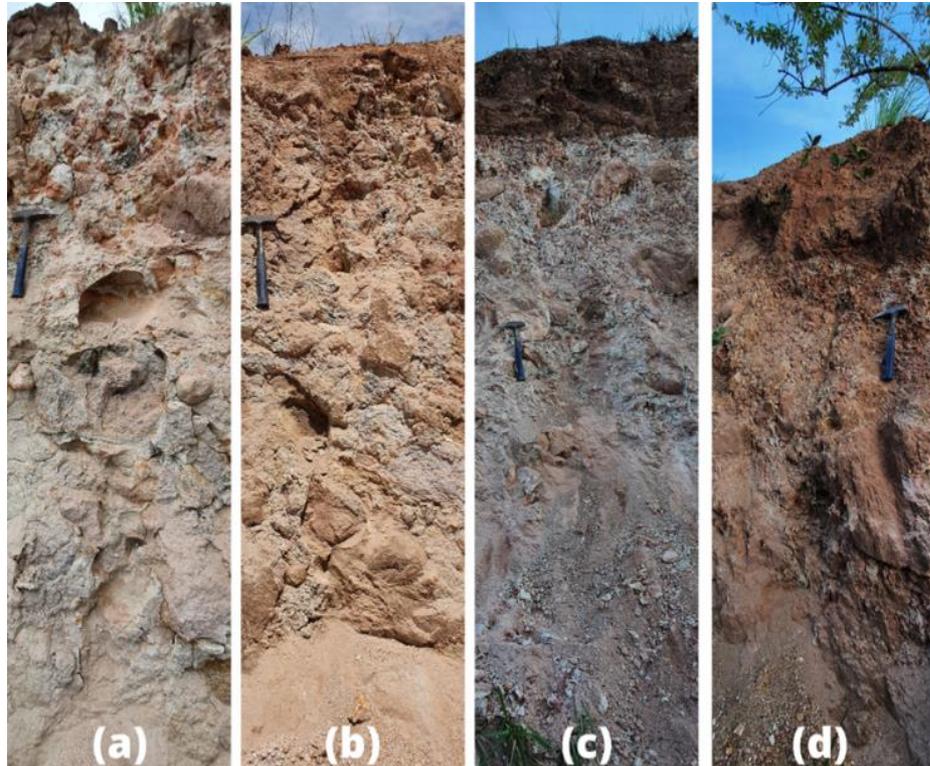
Figura 4 - Talude estudado, com a marcação em laranja do local de intersecção da Formação Cabo com a Formação Suape.



Fonte: Autor.

Os perfis foram divididos segundo a extensão de 20 m do talude, em um total de 4. Os perfis 1 (Figura 5 (a)) e 2 (Figura 5 (b)) apresentaram uma quantidade maior de clastos, sendo o 2 com uma maior frequência de clastos de diversas origens. O perfil 3 (Figura 5 (c)) foi o primeiro a apresentar presença do solo da Formação Suape. Os perfis 3 e 4 (Figura 5 (c) e 5(d)) maior concentração de matriz, isso reforça a premissa de que as rochas do lado direito do talude sofreram maior alteração devido ao intemperismo que as do lado esquerdo, sendo baseada nas condições mineralógicas frente as condições de intemperismo.

Figura 5 - Perfis do solo em campo. (a) perfil 1, (b) perfil 2, (c) perfil 3 e (d) perfil 4.



Fonte: Autor.

Em cada perfil foi retirado uma sequência de amostras levando em consideração a sua composição por meio de análise tátil-visual, diferenciando em quais minerais era composta e o tamanho deles. As amostras nomeadas e suas devidas composições e granulometrias estão expressas na Tabela 1.

Tabela 1 – Nomeclatura e composição das amostras. Autor.

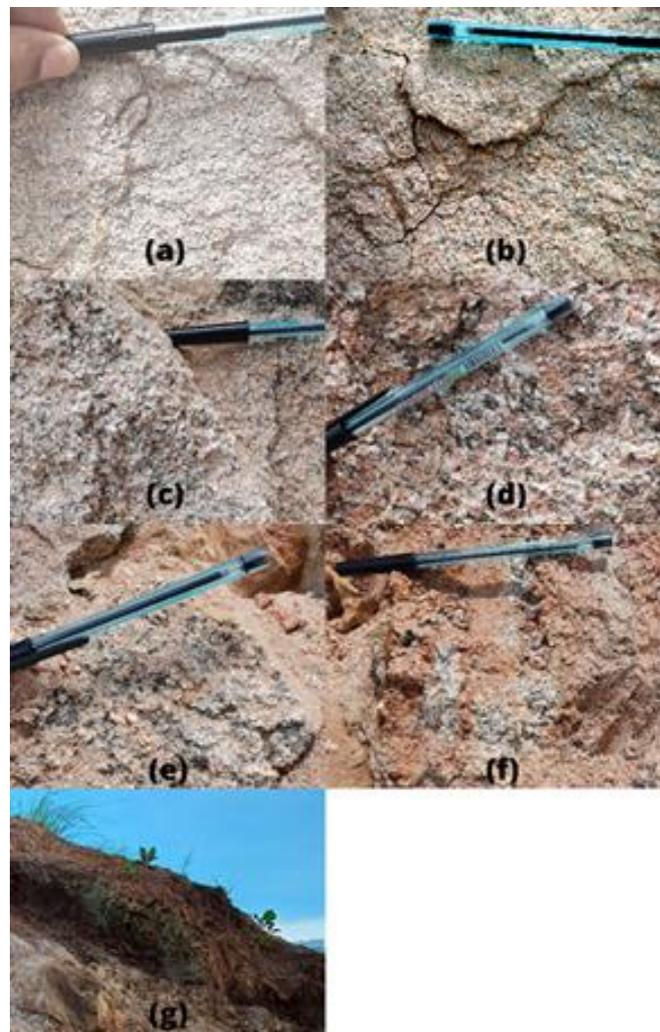
Amostra	Composição Granulométrica
ET01	Granito fino (minerais finos)
ET02	Granito fino + Biotita
ET03	Granito entre Fino/Médio
ET04	Granito Médio + Biotita
ET05	Granito entre Fino/Médio + Biotita
M	Matriz granítica entre Fino/Médio
V	Rocha Vulcânica (Formação Suape)

Fonte: Autor.

Houve a presença de clastos que possuíam em sua composição minerais distintos, mas que apareceram em pequenas quantidades e em alguns perfis específicos. Os materiais eram um quartzo esfumaçado, material que tem cor escura devido a deformação da rede cristalina por radiação e um granito fino com presença de muscovita. Ambos não foram catalogados pela pequena presença deles em relação ao perfil completo do talude.

As amostras retiradas estão exemplificadas na Figura 6, nela é possível identificar os diferentes tamanhos dos minerais e as suas diferentes composições.

Figura 6 - Amostras retiradas do talude (a) ET01, (b) ET02, (c) ET03, (d) ET04, (e) ET05, (f) Matriz e (g) Vulcânica.



Fonte: Autor.

Na Tabela 2 a seguir, está expressa quais amostras foram encontradas em cada perfil, quantas vezes e a porcentagem em relação ao perfil.

Tabela 2 – Porcentagem (%) das amostras por perfil relacionando o quantitativo de amostra que aparecem em cada perfil.

Perfil	ET01	ET02	ET03	ET04	ET05	M	V
1	16,06	19,92	24,82	5,74	-	33,37	-
2	2,68	29,80	6,43	14,47	9,65	31,03	-
3	4,64	9,11	11,06	-	-	48,09	22,86
4	-	-	5,96	-	-	51,93	42,11

Fonte: Autor.

A Tabela 3 expressa a porcentagem das amostras retiradas relacionando a presença delas em relação ao perfil completo do talude.

Tabela 3 – Porcentagem (%) das amostras por perfil.

Amostra	% do talude
ET01	5,81
ET02	14,71
ET03	12,07
ET04	5,05
ET05	2,41
M	41,27
V	16,24

Fonte: Autor.

Com a determinação dos dados estatísticos é possível determinar que a presença da matriz entre os clastos ocorre de forma abundante, quase cerca de 50% do talude, essa matriz é formada pelo intemperismo sofrido nos distintos clastos, apresentando assim características em grande parte comum a todos. A presença da matriz granítica permite classificar este depósito como paraconglomerado, sendo assim, foi determinado um paraconglomerado polimítico.

O talude assim como os perfis, as fraturas e falhas foram orientados segundo as coordenadas geológicas. Os planos de falha e fratura presentes no talude estão ligados a atuação dos esforços extensionais de abertura da BPE. A orientação das fraturas e falhas estão expressas nos dados de orientação descritos na Tabela 4.

Tabela 4 – Orientação dos perfis, talude, fraturas e falhas.

Plano	Direção	Mergulho(°)	Sentido
Perfil 1	40	64	NW
Perfil 2	43	61	NW
Perfil 3	210	62	NW
Perfil 4	40	54	NW
Talude	215	-	NW
Fratura 1	140	70	SW
Fratura 2	340	49	SW
Falha	312	64	SW

Fonte: Autor.

A fratura 1 foi observada no perfil 1, a fratura 2, no perfil 2 e entre o perfil 2 e o 3, foi observado uma falha. Nos perfis 3 e 4, pelo grau de intemperismo, não foi possível determinar a cinemática do plano de falha.

Pelo sentido foi possível determinar que as fraturas e falha tem sentido de propagação quase que contrário ao plano do talude, onde estão os perfis.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os resultados obtidos por análise tátil-visual foi possível determinar, que o afloramento estudado se trata de um representante da Formação Cabo, presente na Bacia de Pernambuco, em sua face proximal. Nestes predominam os conglomerados polimítico arredondados, ou seja, paraconglomerados, tendo granulometria variada e sendo depositados em leques aluviais por fluxo muito denso. A última parte é confirmada levando em consideração a presença de clastos maiores nas regiões inferiores do talude, com dimensões de mais de 80 cm. Outro dado que corrobora com a classificação é a presença de quase cerca de 50% de matriz granítica entre os clastos bem visível nas figuras apresentadas.

A granulometria verificada em campo é semelhante aos estudos apresentados, onde são compostas de granitos finos e grossos, migmatitos, gnaisses e raros micaxistos grossos, com blocos bem arredondados de diâmetros variando de poucos centímetros até quase 2 metros em uma matriz fragmentar.

É necessário também levar em consideração a determinação feita das

coordenadas geológicas do Talude, que, em contraste com as fraturas e falha, mostram a ação geológica estrutural presente em literatura, caracterizado pela presença da Bacia Interna a qual o Cabo se localiza.

Para a confirmação dos dados obtidos na análise tátil-visual é necessário o complemento com estudos mais aprofundados, como ensaios de Difração Raio-X, que determinem a composição mineralógica.

Agradecimentos

Agradecimento ao CNPq e UFRPE pelo aporte com a bolsa de iniciação científica. Agradecimento especial ao laboratório de Mecânica dos Solos da UFRPE/UACSA e todos que o fazem.

REFERÊNCIAS

ALHEIROS, M.M. et al. **Considerações sedimentológicas e estratigráficas sobre a formação cabo, pernambuco**. Revista Brasileira de Geociências, v. 19, n. 1, p. 17-24. 1989.

ALHEIROS, M.M. **Caracterização sedimentológica da Formação Cabo-PE**. Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Dissertação de Mestrado, 99 p. 1987.

ALHEIROS, Margareth Mascarenhas et al. **Manual de ocupação dos morros da Região Metropolitana do Recife**. Recife: Programa Viva o Morro, p. 147. 2003.

ALHEIROS M.M.; PEDROSA F.J.A.; NÓBREGA V.A. **Registro sedimentar aptiano no norte de Alagoas e sul de Pernambuco**. In: SBG/Núcleo Nordeste, Cong. Bras. Geol., 36, Natal, Anais, 1:256-264. 1990.

ALMEIDA, C.B. **Mapeamento geológico da região do Engenho Sibiró – Porto de Galinhas (Litoral Sul, PE): contribuição à estratigrafia e à tectônica da Subbacia de Pernambuco**. Relatório de Graduação, Departamento e Curso de Geologia, UFRN, Natal, 84p. 2003.

ALMEIDA, C.B., CRUZ, L.R., JARDIM DE SÁ, E.F., VASCONCELOS, P.M.P., MEDEIROS, W.E. **Tectônica e relações estratigráficas na Sub-bacia de Pernambuco, NE do Brasil: contribuição ao conhecimento do rifte Atlântico Sul**. Boletim de Geociências da Petrobras, 13(2): 167-180. 2005.

ALVES, E. C., COSTA, M. P. A. **Interpretação sísmo-estratigráfica da porção norte do platô de Pernambuco e suas possíveis correlações com a Bacia de Pernambuco-Paraíba.** In: SBG, CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34. Goiânia, Atas, v. 1, 286-297. 1986.

BARBOSA, J.A. & LIMA FILHO, M.F. **Aspectos estruturais e estratigráficos da faixa costeira Recife-Natal: observações em dados de poços.** Boletim de Geociências da Petrobras. 14(2): 287-306. 2006.

BARBOSA, J.A. LIMA FILHO, M., NETO, J.C.J., NEUMANN, V.H., RIBEIRO, F.S., BATISTA, A.P. **Depósitos Albianos da Faixa Costeira da Bacia de Pernambuco: Proposição de uma nova unidade estratigráfica a Formação Suape.** V CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS PDPETRO, ABPG, Fortaleza. 2009.

BARBOSA, J.A.; MAIA, M.F.; LIMA FILHO, M.; MAGALHÃES. J.R.; CORREIA FILHO, O.J. **Seismic stratigraphy of the onshore portion of Pernambuco Basin: evidence of break up during Middle Albian for the South Atlantic Rift in Northeast 120 Brazil.** In: AAPG Annual Exhibition and Convention, Houston. Search and Discovery Article #30324. doi: 10.13140/RG.2.1.2943.2809, 2014.

BARRETO, Eduardo Paes et al. **Implicações geomorfológicas da exploração mineral na região metropolitana do Recife-RMR, Pernambuco, Nordeste do Brasil/Geomorphologic Implications Of Mineral Exploration In The Metropolitan Region Of Recife–Mrr, Pe, Brazil.** Caderno de Geografia, v. 26, n. 47, p. 862-876. 2016.

BEZERRA, F.H.R.; ROSSETTI, D.F.; OLIVEIRA, R.G.; MEDEIROS, W.E.; NEVES, B.B. Brito; BALSAMO, F.; NOGUEIRA, F.C.C.; DANTAS, E.L.; ANDRADES FILHO, C.; GÓES, A.M. **Neotectonic reactivation of shear zones and implications for faulting style and geometry in the continental margin of NE Brazil. Tectonophysics** (Amsterdam), v. 614, p. 78-90, 2014.

BOTINAS, R. A. **Estudo do solo como material de construção sustentável.** Tese de Doutorado. Universidade de Coimbra. 2017.

CÓRDOBA, V.C.; JARDIM DE SÁ, E.F.; SOUZA, D.C.; ANTUNES, A.F. **Bacia de Pernambuco-Paraíba.** In: Boletim de Geociências da Petrobras – v. 15, n.2 – maio/nov. 2007.

CORREIA FILHO, Osvaldo José. **Análise de estruturas compressoriais na região onshore da Bacia Pernambuco, NE do Brasil-possíveis influências no potencial petrolífero.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. 2017.

DAS, Braja M.; SOBHAN, Khaled. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica.** São Paulo: Cengage Learning, 2014. Xv, 612 p.

FOLK, R. L. **Petrology of sedimentary rocks.** Austrin, Hemphill Publishing Co., 182 p. 1974.

LIMA FILHO M.F.; PEDROSA F.J.A.; MEDEIROS A.B.; BRITO M.F.L; ARAÚJO R.D.; NÓBREGA V.A.; MOTA J.A.; MANSO V.A.V. **Geologia e tectônica-sedimentar da Bacia Cabo**. Relatório de Pesquisa. Convênio LAGESE/LGGM/FACEPE, 120 p. 1994.

LIMA FILHO, M. **Análise Estratigráfica e Estrutural da Bacia Pernambuco**. Instituto de Geociências - USP, São Paulo. Tese de Doutorado, 180 p. 1998.

MABESOONE, J. M. **O conglomerado da Formação Cabo: origem múltipla?** Ver. Da Associação dos Geólogos de Pernambuco, Recife, 1(3): 25-32. 1971.

MAIA, M.F.B., BARBOSA, J.A., MORT, H.P., SANTANA, F.R., LIMA FILHO, M., NEUMANN, V.H., MORAES, M.A. **Caracterização da Formação Suape na faixa costeira da Bacia de Pernambuco**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS, 6, Florianópolis. 2011.

MAIA, M.F.B. et al. **Características petrográficas e geoquímicas das formações siliciclásticas (Aptiano-Albiano) da Bacia de Pernambuco, NE do Brasil**. Estudos Geológicos, v. 22, n. 1, p. 55-75, 2012.

MAIA, M.F.B. **Revisão da estratigrafia do intervalo aptianoalbiano da bacia de Pernambuco, nordeste do Brasil**. Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Dissertação de Mestrado, 197 p. 2012.

MASSAD, Faíçal. **Mecânica dos solos experimental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016. 287 p.

NÓBREGA, V.A. **Características petrológicas e evolução diagenética da Formação Cabo no Graben do Cupê - Bacia do Cabo-PE**. Nordeste do Brasil. Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Dissertação de Mestrado, 166 p. 1995.

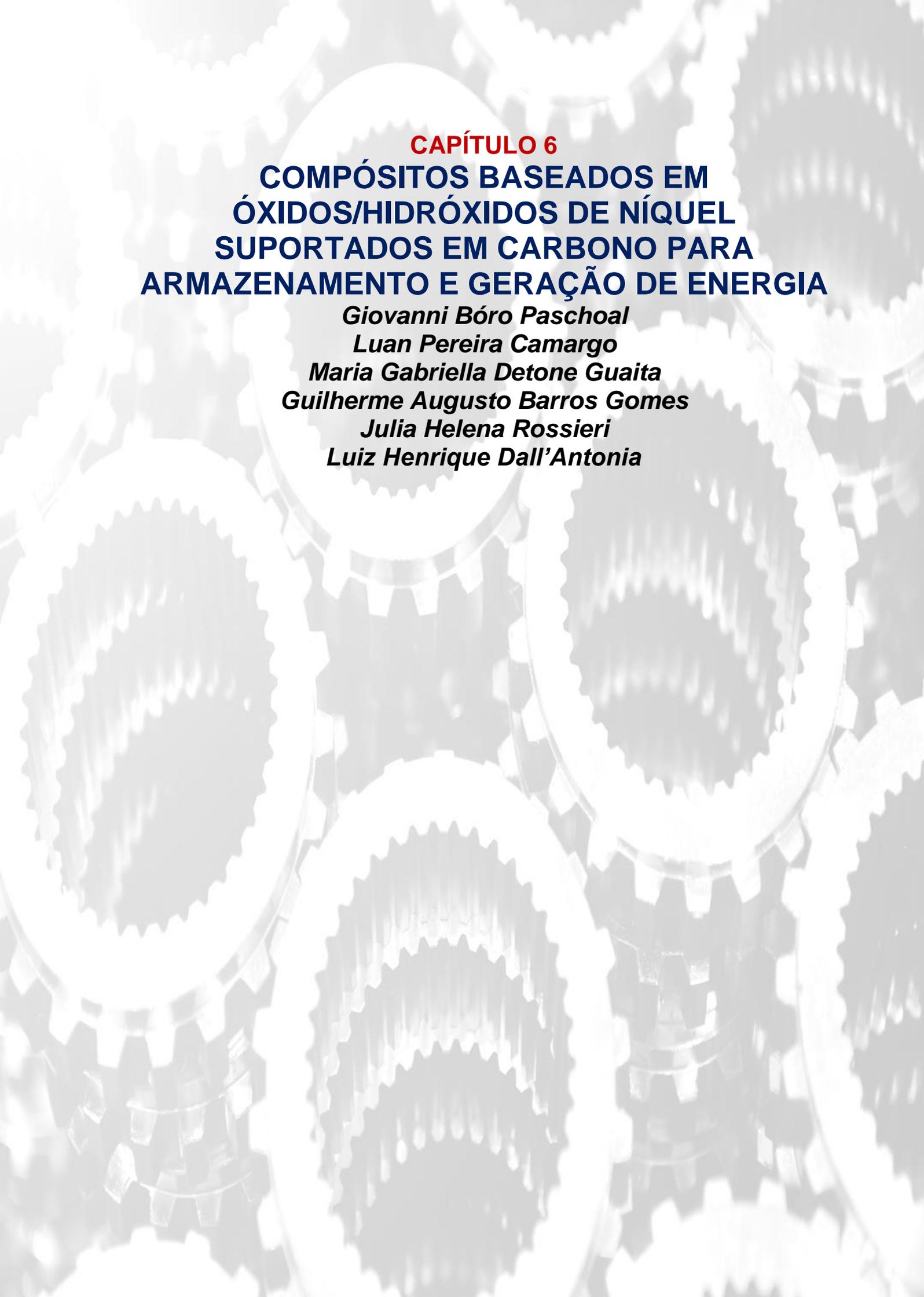
PFALTZGRAFF, P. A. dos S. **Sistema de informações geoambientais da Região Metropolitana do Recife**. Recife: CPRM, 119 p. 2003.

POLÔNIA, J. A. P. **Geometria e cinemática do Rifte do Cabo, litoral Sul do Estado de Pernambuco**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação (Mestrado). 1997.

PRADO, Danillo Henrique Cangussú. **Comparação entre caracterização dos solos do Sudoeste Goiano por meio de ensaios laboratoriais e identificação tátil visual**. Jataí-GO, 2018. 66f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil). IFG: Jataí-GO, 2018.

ROSSETTI, D.F.; BEZERRA, F.H.R.; GÓES, A.M.; BRITO NEVES, B.B. **Sediment deformation in Miocene and post-Miocene strata, Northeast Brazil: evidence for paleoseismicity in a passive margin**. Sedimentary Geology, 235(3-4): 172-187. doi: 10.1016/j.sedgeo.2010.02.005, 2011.

TOMÉ, M.E.T.R.; LIMA FILHO, M.F.; NEUMANN, V.H.M.L. Análise Estratigráfica do Albiano-Turoniano da Bacia Pernambuco: Considerações sobre a Paleogeografia e Geração de Hidrocarbonetos. UNESP, Geociências, v. 25, n. 1, p. 49-58, 2006.



CAPÍTULO 6
COMPÓSITOS BASEADOS EM
ÓXIDOS/HIDRÓXIDOS DE NÍQUEL
SUPORTADOS EM CARBONO PARA
ARMAZENAMENTO E GERAÇÃO DE ENERGIA

Giovanni Bóro Paschoal

Luan Pereira Camargo

Maria Gabriella Detone Guaita

Guilherme Augusto Barros Gomes

Julia Helena Rossieri

Luiz Henrique Dall'Antonia

COMPÓSITOS BASEADOS EM ÓXIDOS/HIDRÓXIDOS DE NÍQUEL SUPPORTADOS EM CARBONO PARA ARMAZENAMENTO E GERAÇÃO DE ENERGIA

Giovanni Bóro Paschoal

Mestre em química (Universidade Estadual de Londrina), gpboro@gmail.com

Luan Pereira Camargo

Doutorando em química (Universidade Estadual de Londrina – departamento de Química), Bacharel e mestre em Química, luanpcamargo@gmail.com

Maria Gabriella Detone Guaita

Doutorando em química (Universidade Estadual de Campinas – Departamento de Química), Bacharel e mestre em Química, gabriellaguaita@hotmail.com

Guilherme Augusto Barros Gomes

Doutorando em química (Universidade Estadual de Londrina – departamento de Química), Bacharel e mestre em Química, guilherme09.barros@gmail.com

Julia Helena Rossieri

Doutorando em química (Universidade Estadual de Londrina – departamento de Química), Bacharel e mestre em Química, julia.helena.rossieri@uel.br

Luiz Henrique Dall’Antonia

Professor associado (Universidade Estadual de Londrina – departamento de Química), Doutor em físico-química, luizh@uel.br

Resumo: Devido à grande demanda energética que se impôs mundialmente nos últimos anos, os estudos de materiais que aprimoraram os dispositivos de armazenagem e geração de energia, tais como supercapacitores e baterias, são de grande interesse. Materiais como óxidos e hidróxidos de metais de transição e materiais carbonáceos têm sido estudados para esta finalidade, mas observa-se que o uso isolado destes causam situações indesejadas. A formação de compósitos entre

ambos mostrou ser ótima solução para o problema. No presente trabalho, utilizando um processo simples de síntese preparou-se hidróxido de níquel na fase alfa, α -Ni(OH)₂ puro, em diferentes materiais carbonáceos: grafite, NTCs e *carbon black*. Utilizando difração de raios-X, infravermelho por transformada de Fourier, espectroscopia Raman e voltametria cíclica os materiais foram caracterizados confirmando a fase alfa do hidróxido de níquel. Os estudos de capacitância mostraram que todos os materiais apresentaram boa capacitância específica, variando desde 173,83 a 662,77 F g⁻¹. O eletrodo preparado com o hidróxido de níquel sintetizado em presença de nanotubos de carbono obteve maior capacitância específica. Os materiais sintetizados mostram promissores para aplicação como eletrodos e supercapacitores, pois além da capacitância específica, apresentam alta reversibilidade que é propriedade essencial aos supercapacitores.

Palavras-chave: Supercapacitores, hidróxido de níquel, eletrodos, armazenamento de energia.

Abstract: Due to high energy demand that was enacted worldwide in recent years, the study of materials to improve devices of storage and energy generation as supercapacitors is of pronounced interest. Materials such as transition metal oxides and hydroxides and graphene have been studied for this purpose, but it was found that the isolated use of these causes unwanted situations. The composites formed of both materials showed optimal solution to the problem. Thus, by simple synthesis of nickel hydroxide α -Ni(OH)₂ and composites containing graphite, carbon black and CNTs were prepared. Using different techniques such as XRD, Fourier transform infrared, Raman spectroscopy and cyclic voltammetry, these materials were characterized, confirming the alpha phase of the hydroxide. Capacitance studies have shown that all materials showed good specific capacitance, ranging from 173,83 to 662,77 F g⁻¹, the composite containing CNTs showed the higher specific capacitance. The synthesized materials show promise for use as electrodes and supercapacitors, because they show good specific capacitance, a high reversibility feature that is an essential property for supercapacitors.

Keywords: Supercapacitors, nickel hydroxide, electrodes, energy storage.

INTRODUÇÃO

Combustíveis fósseis são utilizados pelos seres humanos há séculos para geração de energia, entre os quais, destacam-se o petróleo, carvão mineral e gás natural (LIU et al., 2010). O interesse nestes combustíveis deve-se à sua ótima eficiência na produção de energia, pois a combustão de pouca massa gera grande quantidade de energia (LIU et al., 2010; VANGARI; PRYOR; JIANG, 2013). Entretanto, sabe-se que a combustão destes produz grandes quantidades de gases nocivos ao meio ambiente, tal como o CO e CO₂. Além disso, devido ao crescimento industrial e populacional o consumo dos combustíveis fósseis aumentou gradativamente ao longo dos anos, bem como a emissão de gases poluentes,

provocando sérios problemas ambientais (LIU et al., 2010; VANGARI; PRYOR; JIANG, 2013; WINTER; BRODD, 2004).

Dentro deste contexto, os sistemas eletroquímicos representam alternativas para geração de energia uma vez que apresentam capacidade tanto de armazenagem quanto de geração de energia em praticamente qualquer localização (LIU et al., 2010; SIMON; GOGOTSI, 2009; VANGARI; PRYOR; JIANG, 2013; WINTER; BRODD, 2004; XING et al., 2012). As pilhas e baterias são exemplos clássicos desses sistemas e estão no mercado mundial há décadas. Além das pilhas e baterias destacam-se as células combustíveis e capacitores, por apresentarem alta energia específica e alta potência específica (WINTER; BRODD, 2004). Os capacitores são dispositivos constituídos por dois eletrodos ou duas placas metálicas paralelas, separadas por um dielétrico, podendo ser ar, vidro, vácuo, cerâmica ou filme polimérico. Estes dispositivos são capazes de fornecer e armazenar energia, assim como as baterias. Enquanto as baterias armazenam energia elétrica por meio de reações redox nas superfícies de seus eletrodos (reações faradáticas), os capacitores armazenam energia elétrica por meio da indução das cargas gerada por uma fonte de energia. Quando o capacitor é conectado a uma carga externa, a corrente elétrica induz os elétrons a fluírem por meio do circuito elétrico, carregando negativamente uma das placas metálicas. Ao desconectar a carga externa do capacitor, ele estará carregado e poderá ser utilizado no fornecimento de energia a um dispositivo conectado. Além dos capacitores eletrostáticos, existem ainda os capacitores eletroquímicos ou supercapacitores. Neste tipo os eletrodos são submersos em um eletrólito, separados por uma membrana semipermeável, que evita o contato entre os eletrodos, mas permite a passagem dos íons. O eletrólito tem que ser bom condutor para auxiliar o fluxo de íons e elétrons entre os eletrodos. Estes, por sua vez, devem ter em sua composição um material eletroquimicamente estável para não ter sua estrutura alterada nos inúmeros ciclos de descarga/carga (JAYALAKSHMI; BALASUBRAMANIAN, 2008; SHARMA; BHATTI, 2010; SHUKLA et al., 2012; SIMON; GOGOTSI, 2009). Portanto, a capacidade de dispositivos eletroquímicos armazenarem energia é determinada pelo tipo de material utilizado na fabricação dos eletrodos e pelo tipo de eletrólito utilizado (WINTER; BRODD, 2004). Assim sendo, tanto a estrutura quanto a capacidade de adsorção/dessorção do material contribuem diretamente para a transferência de carga. Logo, materiais porosos com elevada área superficial, terão maior capacidade de adsorção do que aqueles materiais não-

porosos e de menor área superficial. Além disso, os materiais devem ter alta estabilidade eletroquímica, para que ao decorrer de reações de descarga/carga os eletrodos não sofram algum tipo de estresse físico. Materiais que apresentem estas características possuem grande potencial na fabricação de eletrodos de dispositivos armazenadores de energia (LIU et al., 2010; VANGARI; PRYOR; JIANG, 2013; WU et al., 2012).

Neste sentido, existem diversos tipos de materiais utilizados na fabricação de eletrodos em capacitores, destacando-se os materiais carbonáceos tais como grafite, carvão ativado, nanotubos de carbono e grafeno, bem como óxidos/hidróxidos de metais de transição (LIU et al., 2010; WU et al., 2012; ZHANG et al., 2009). De modo geral, os materiais de carbono apresentam grande área superficial, alta condutividade elétrica, capacitância específica estável, alta estabilidade química e eletroquímica. Enquanto os óxidos/hidróxidos de metais de transição apresentam vantagens como alta capacitância específica, suas estruturas possibilitam intercalação de íons, alta densidade de energia e baixa resistência (WU et al., 2012; ZHAI et al., 2011; ZHANG et al., 2009). Por outro lado, a primeira classe de materiais apresenta baixa densidade de energia enquanto os óxidos/hidróxidos de metais de transição sofrem com estresse durante os processos de carga/descarga, ocasionando variação de volume, irreversibilidade da reação e perda de capacitância (LIU et al., 2010; VANGARI; PRYOR; JIANG, 2013).

Dessa forma, com a necessidade de minimizar os problemas dos materiais utilizados como eletrodos, estudos têm sido realizados não apenas para aprimorar suas propriedades individuais (morfologia, estrutura, tamanho de poros e composição), mas também no sentido de aproveitar os pontos fortes de cada material. Estudos revelaram que compósitos e/ou misturas de materiais carbonáceos e óxidos/hidróxidos de metais de transição apresentam efeitos complementares, diminuindo propriedades indesejadas e aprimorando as desejadas. Por exemplo, em um compósito destes materiais, o material carbonáceo com grande número de poros e grande área superficial facilitará o acesso dos íons e elétrons à superfície dos óxidos/hidróxidos. Tang, Tang e Gong, 2012 sintetizaram compósito de Ni(OH)_2 com nanotubos de carbono com alta densidade de energia e elevada capacitância específica (3300 F g^{-1}) (TANG; TANG; GONG, 2012). Enquanto Zhang, Xiong e Zhao 2013, com compósito semelhante obtiveram capacitância específica de 1235 F g^{-1} em densidade de corrente de $1,0 \text{ A g}^{-1}$, além de manter 80% da capacitância original

depois de 500 ciclos de carga/descarga (LIU et al., 2010; ZHANG; XIONG; ZHAO, 2013; ZHANG et al., 2009).

Assim, devido ao interesse em energia renovável e ao crescente mercado de armazenadores de energia, compósitos de hidróxido de níquel (Ni(OH)_2) e materiais carbonáceos (grafite, *carbon black* e nanotubos de carbono) foram escolhidos neste trabalho a fim de avaliar sua possível aplicação em eletrodos supercapacitores. Estudos anteriores revelaram que tanto o Ni(OH)_2 quanto os materiais carbonáceos possuem características químicas e eletroquímicas interessantes para aplicação em sistemas eletroquímicos de armazenamento de energia. E, compósitos formados de tais materiais podem apresentar uma ampla aplicabilidade em sistemas eletroquímicos. Assim, a combinação Ni(OH)_2 e materiais carbonáceos se mostrou promissora, somando a isto, os materiais serem utilizados em escala manométrica espera-se resultados satisfatórios.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Síntese Ni(OH)_2 e Ni(OH)_2 /Materiais carbonáceos

O método de síntese escolhido para obtenção do Ni(OH)_2 foi o método sonoquímico (ou ultrassom), que se destaca pela simplicidade, velocidade e pode ser reproduzida com pequenas quantidades de reagentes de partida. Foram preparadas soluções de $\text{Ni(NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Vetec) $10,0 \text{ mmol L}^{-1}$ e NH_4OH (Vetec) $1,0 \text{ mol L}^{-1}$. Em Becker de 50 mL adicionaram-se 30 mL de solução $\text{Ni(NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ $10,0 \text{ mmol L}^{-1}$. O Becker foi levado ao ultrasonicador, antes deste ser ligado adicionou-se $600 \mu\text{L}$ de solução NH_4OH $1,0 \text{ mol L}^{-1}$. A solução final foi ultrasonicada por 5 minutos na potência de 100 W, e na sequência armazenou-se a suspensão resultante (VIDOTTI et al., 2008).

Para a síntese dos compósitos Ni(OH)_2 /material carbonáceo, foram preparadas suspensões contendo somente os materiais carbonáceos, assim em balões volumétricos de 50 mL dispersão de grafite (Fluka) $0,72 \text{ g L}^{-1}$, de *carbon black* (Cabot *black pearls 2000*) $0,5 \text{ g L}^{-1}$ e de nanotubos de carbono (CNT Co. Ltd.) $0,5 \text{ g L}^{-1}$. Com esse procedimento obteve-se maior precisão ao adicionar o material carbonáceo à solução de $\text{Ni(NO}_3)_2$. O procedimento adotado para síntese de Ni(OH)_2 /grafite, Ni(OH)_2 /CB (*carbon black*) e Ni(OH)_2 /NTC (nanotubo de carbono) é semelhante ao do Ni(OH)_2 . Em Becker de 50 mL adicionaram-se 30 mL de solução $\text{Ni(NO}_3)_2$, e então, adicionaram-se as soluções de materiais carbonáceos em diferentes volumes, com a

finalidade de se obter compósitos com quantidades de materiais carbonáceos variadas. Para o grafite foram adicionadas 138, 347, 694 e 1040 μL de dispersão de grafite. Para o *carbon black* adicionaram-se 200, 500, 1000 e 1500 μL de dispersão inicial de *carbon black*. Com o propósito de serem obtidas dispersões contendo $1,0 \times 10^{-4}$; $2,5 \times 10^{-4}$; $5,0 \times 10^{-4}$ e $7,5 \times 10^{-4}$ g de grafite e *carbon black*, respectivamente. Enquanto para os NTCs adicionou-se apenas 200 μL da solução inicial de NTC, tendo como finalidade obter dispersão final de compósito com $1,0 \times 10^{-4}$ g de NTC. Como a solução de $\text{Ni}(\text{OH})_2$ obtida nesta síntese é translúcida. Ao adicionar os 200 μL de dispersão $0,5 \text{ g L}^{-1}$ NTCs a solução, antes, translúcida, já passou a apresentar aspecto escuro, podendo caracterizar já excesso de NTC. De modo a evitar que o compósito perca as propriedades eletroquímicas do $\text{Ni}(\text{OH})_2$ por excesso de NTC, restringiu-se a quantidade de NTC para $1,0 \times 10^{-4}$ g. Em cada uma das soluções de $\text{Ni}(\text{OH})_2$ e materiais carbonáceos preparadas, adicionou-se 600 μL de solução NH_4OH $1,0 \text{ mol L}^{-1}$, e logo após, cada uma das soluções foi sonicada separadamente por 5 minutos na potência de 100 W.

Os materiais carbonáceos foram tratados isoladamente no ultrassonicador com NaNO_3 no lugar do $\text{Ni}(\text{NO})_3$, mas seguindo o mesmo procedimento para se averiguar se durante a síntese ocorrem alterações destes materiais. Os materiais também foram liofilizados em Liofilizador Liotop. Os frascos contendo soluções foram congelados a -20°C , conectados a bomba liofilizadora (Alto vácuo, 200 mmHg, -55°C).

Caracterização dos materiais

A morfologia dos materiais sintetizados foi analisada por microscopia eletrônica de varredura (MEV) utilizando Philips FEI Quanta 200. Para analisar a composição dos materiais sintetizados empregou-se as técnicas de espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FT-IR) utilizando-se o espectrômetro Shimadzu modelo IR-PRESTIGE-21 e da espectroscopia Raman utilizando-se o espectrômetro WITec modelo Alpha300+, aplicando-se 532 nm para fonte de laser. As medidas de difração de raios-X (DRX) foram realizadas por meio do difratômetro da marca PANalytical e modelo X'Pert PRO MPD, utilizando $\text{CuK}\alpha$ como fonte de radiação e técnica de ângulo rasante, 6° . A tensão e a corrente aplicadas foram 40 kV e 30 mA, respectivamente. O intervalo de varredura 2θ foi de 10 a 80° , e passo angular de $0,03^\circ$ com tempo de contagem por ponto de 2,0 s. Preparou-se o material

para caracterização depositando-os sobre substrato de vidro e secando por 1 dia, e repetiu esse procedimento 2 vezes.

Medidas eletroquímicas

Estudos eletroquímicos foram realizados em um potenciostato μ -AutoLab modelo 125N combinado ao programa NOVA. Voltamogramas cíclicos dos materiais sintetizados foram obtidos para confirmação da fase α do $\text{Ni}(\text{OH})_2$. Cada material foi depositado (aproximadamente $1,0 \mu\text{L}$ de suspensão) sobre eletrodo de platina e seco a temperatura ambiente por 1 dia, sendo utilizado como eletrodo de trabalho. Utilizou-se uma célula eletroquímica simples de único compartimento (Becker de 25 mL), posicionando três eletrodos: eletrodo de trabalho, auxiliar e referência. Utilizou-se como eletrodo auxiliar um fio de platina, e como eletrodo de referência o Ag/AgCl (KCl $3,0 \text{ mol L}^{-1}$), e para eletrólito suporte, uma solução KOH $1,0 \text{ mol L}^{-1}$. A voltametria de varredura cíclica foi realizada na faixa de $0,0$ a $0,50 \text{ V}$, com velocidade de varredura de 25 mV s^{-1} . Para avaliar as capacitâncias dos materiais sintetizados, fez-se a deposição de cada um dos materiais sobre ITO (2 cm^2) utilizando $100 \mu\text{L}$ de suspensão, e deixou secar por 1 dia. Este procedimento foi realizado mais de 2 vezes, totalizando três camadas. Os filmes finos dos materiais sintetizados foram utilizados como eletrodo de trabalho e o mesmo sistema eletroquímico descrito anteriormente foi utilizado. A Voltametria de varredura cíclica potenciostática foi utilizada para observar a curva de capacitância para cada um dos materiais. Foram estudados dez ciclos de varredura na faixa de potencial de $-0,2$ a $0,4 \text{ V}$ e nas seguintes velocidades de varredura $10, 25, 50, 75$ e 100 mVs^{-1} .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização físico-química

A Figura 1 apresenta os difratogramas de raios-X dos materiais carbonáceos modificados com hidróxido de níquel. A partir destes percebe-se que a característica básica dos materiais é não cristalina, devido ao pico largo e sem definição, referente ao plano (001), característica da fase α do $\text{Ni}(\text{OH})_2$. Pode-se observar pela Figura 1, que ocorre leve deslocamento do pico referente ao plano (001) do $\text{Ni}(\text{OH})_2$ a valores maiores de 2θ devido à adição de *carbon black* (CB) e nanotubo de carbono (NTC), a síntese do $\alpha\text{-Ni}(\text{OH})_2$. De acordo com a lei de Bragg o deslocamento à maiores ângulos 2θ significa que diminuiu as distâncias entre as lamelas do $\alpha\text{-Ni}(\text{OH})_2$ (HALL

et al., 2015). A distância entre os planos foi calculada pela lei de Bragg (JENKINS; SNYDER, 1997). Os ângulos de incidência (θ) do Ni(OH)_2 e para os compósitos $\text{Ni(OH)}_2/\text{CB}$; $\text{Ni(OH)}_2/\text{NTC}$ e $\text{Ni(OH)}_2/\text{grafite}$ são $21,10^\circ$; $21,94^\circ$; $21,44^\circ$ e $21,14^\circ$, respectivamente. O cálculo da distância entre os planos atômicos para o hidróxido de níquel, de acordo com a lei de Bragg resultou nos seguintes valores: 2,138; 2,061; 2,107 e 2,135 Å, para Ni(OH)_2 ; $\text{Ni(OH)}_2/\text{CB}$; $\text{Ni(OH)}_2/\text{NTC}$ e $\text{Ni(OH)}_2/\text{grafite}$, respectivamente. O deslocamento do ângulo 2θ ocasionado pela adição de materiais carbonáceos na síntese do hidróxido de níquel é insignificante. Todavia, esta aproximação entre os planos pode ter sido ocasionada pela deposição ou adsorção dos materiais carbonáceos na superfície ou acima do Ni(OH)_2 , e assim aproximando os planos atômicos do hidróxido. Ou talvez a inserção de algumas partículas de CB e NTCs, considerando que estas devem ter partículas de no máximo 8,0 Å.

O compósito contendo grafite não apresentou o deslocamento do plano (001), como se observa na Figura 1, isto pode ser explicado pelo fato de que a estrutura do grafite apresentou maior tamanho em comparação com as de NTC e CB. Mesmo o $\alpha\text{-Ni(OH)}_2$ apresentando maior espaçamento entre suas lamelas, a estrutura do grafite é muito maior em comparação ao espaçamento, por isso incapaz de intercalar no hidróxido. Além disso, por ter partículas maiores do que o próprio Ni(OH)_2 sintetizado, o grafite pode não ter adsorvido ou incorporado totalmente no Ni(OH)_2 . Isto bem provável, pois como o difratograma mostrou e como será visto nas seções seguintes, o compósito de Ni(OH)_2 e grafite, teve características mais semelhantes ao Ni(OH)_2 puro.

Posteriormente, para melhor investigação do material sintetizado, foram realizados experimentos obtendo espectros de infravermelho por transformada de Fourier e Raman. A Figura 2 apresenta os espectros infravermelhos do $\alpha\text{-Ni(OH)}_2$ puro, e com *carbon black* (CB), nanotubo de carbono (NTCs) e grafite não liofilizados. Pode-se observar nos espectros que as análises foram feitas acima de 2000 cm^{-1} , isto foi necessário, pois abaixo de deste valor a quantidade de ruídos era grande, incapacitando análise e identificação de qualquer banda referente aos materiais sintetizados.

Observa-se na Figura 2a, 2b e 2d, as bandas 3644 , 3647 e 3647 cm^{-1} . A banda estreita presente em torno de 3640 cm^{-1} é característica de estiramento de grupos hidroxilas livres, presentes normalmente no $\beta\text{-Ni(OH)}_2$. Figura 2a-d apresentam banda largas respectivamente em 3425 , 3422 , 3408 e 3415 cm^{-1} , que representam

estiramentos dos grupos hidroxilas ligadas a moléculas de água por ligação de hidrogênio (LIU; LI, 2009; SALAVATI-NIASARI et al., 2013).

Figura 1 – Difratomogramas de raios-X para: (a) α -Ni(OH)₂, (b) α -Ni(OH)₂/CB (*carbono black*), (c) α -Ni(OH)₂/NTC (*nanotubo de carbono*) e, (d), α -Ni(OH)₂/grafite.

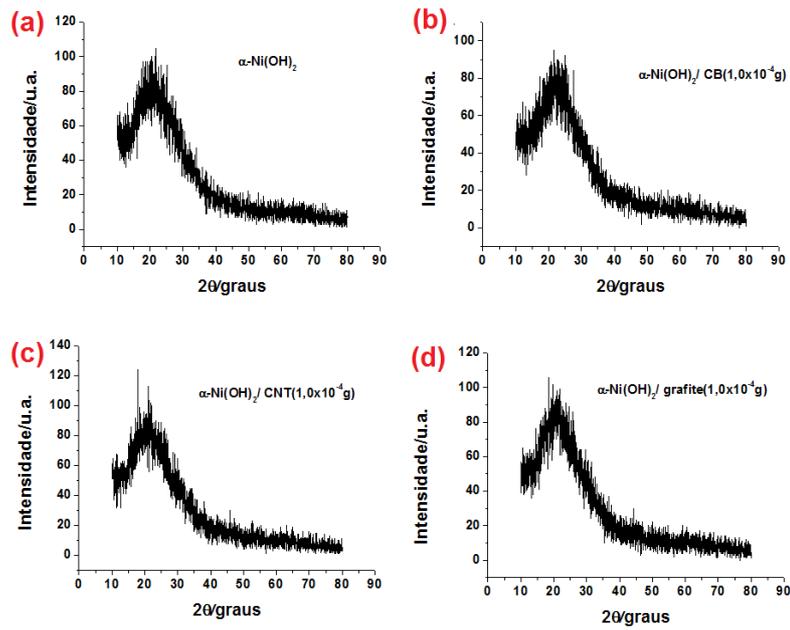
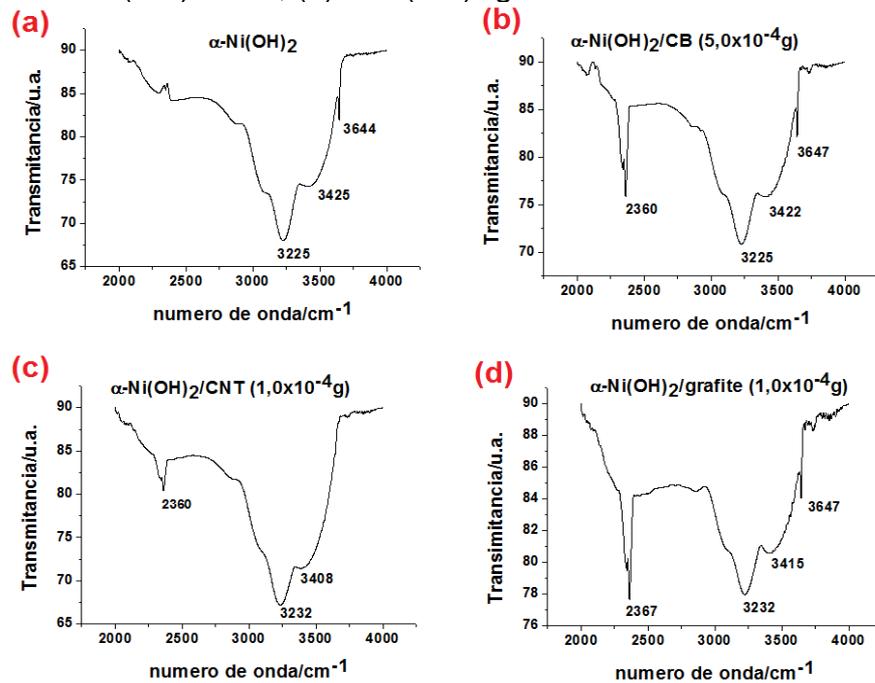


Figura 2 – Espectros de infravermelho (a) α -Ni(OH)₂; (b) α -Ni(OH)₂/CB; (c) α -Ni(OH)₂/NTC; (d) α -Ni(OH)₂/grafite não liofilizados.



Em todos os espectros há uma banda em torno de 3220 cm^{-1} , característica de estiramentos O-H presentes na água. Pois, as amostras estavam em solução aquosa

(PAVIA; LAMPMAN; KRIZ, 2001). Nos espectros contendo materiais carbonáceos, Figura 2b-d, há presença de uma banda estreita 2360, 2360 e 2367 cm^{-1} , respectivamente. Estas bandas podem ser atribuídas ao estiramento N-H de sais de amônio (NH_4^+) (PAVIA; LAMPMAN; KRIZ, 2001). Como na síntese utilizou-se excesso de NH_4OH e a hidroxila foi consumida para formação do $\text{Ni}(\text{OH})_2$, todos NH_4^+ presentes na dispersão aquosa podem e devem interagir com os outros compostos presentes no meio, e ficar retida junto ao material carbonáceo utilizado em cada caso.

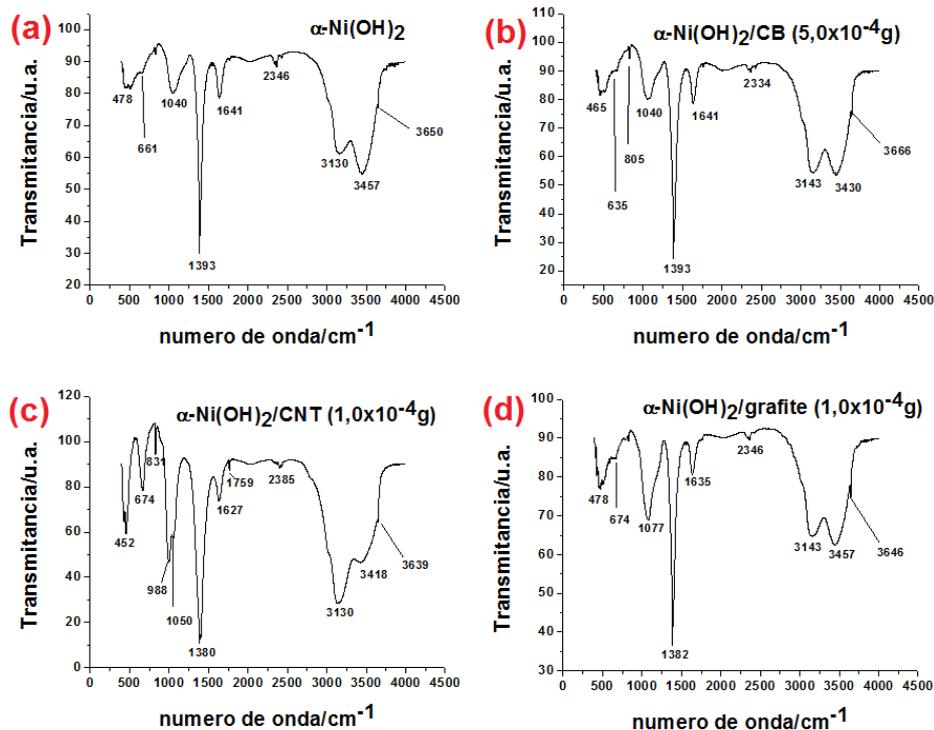
A Figura 3 apresenta os espectros infravermelhos das amostras liofilizadas. Com a liofilização foi possível observar as bandas características dos materiais abaixo do número de onda 2000 cm^{-1} . Após análise dos novos espectros constatou-se que as bandas de 2360, 3100, 3400 e 3600 cm^{-1} aproximadamente, são respectivamente, características de sais de amônio (NH_4^+), estiramentos O-H presentes na água, estiramentos dos grupos hidroxilas ligados a moléculas de água por ligação de hidrogênio e estiramento de grupos hidroxilas livres, presentes normalmente no β - $\text{Ni}(\text{OH})_2$. Nas Figuras 3a-d, há uma banda estreita fraca em torno de 1640 cm^{-1} , característica de vibrações de dobramento angular de moléculas de água, provavelmente presentes entre os planos do hidróxido de níquel (LI et al., 2014; LIU; LI, 2009; SALAVATI-NIASARI et al., 2013). Também presentes em todos os espectros há uma banda estreita em torno 1380-1390 cm^{-1} , esta pode ser devido a vibrações causadas pela presença de íons nitratos (LI et al., 2014), e há a possibilidade de ser íons carbonatos devido a síntese ter sido realizada em sistema aberto (LIU; LI, 2009; SALAVATI-NIASARI et al., 2013). Presente nos espectros dos compósitos com NTC e CB a banda em 800-830 cm^{-1} pode ser conferida às vibrações de ligações C-C ou C=C. Bem como a banda estreita em 988 cm^{-1} no espectro do compósito de nanotubo de carbono (PAVIA; LAMPMAN; KRIZ, 2001). Nos espectros de todos os compósitos há presença de bandas em 450-480 cm^{-1} e 630-680 cm^{-1} , estas são características da vibração de ligações Ni-O e Ni-O-H, respectivamente (LI et al., 2014; LIU; LI, 2009; SALAVATI-NIASARI et al., 2013).

Na Figura 4 observam-se os espectros Raman dos compósitos preparados. O espectro 4a apresenta uma banda estreita e intensa em 1052 cm^{-1} , referente da estado vibracional excitado (ν_1) de NO_3^- livre nos planos do $\text{Ni}(\text{OH})_2$ (HALL et al., 2015). As outras duas bandas de menor deslocamento Raman, e de baixa intensidade, 568 e 723 cm^{-1} também foram analisadas, são respectivamente atribuídas ao modo de rede do α - $\text{Ni}(\text{OH})_2$, e ao modo vibracional (ν_4) de NO_3^- (HALL

et al., 2012). O espectro 4b possui duas bandas 486 e 1097 cm^{-1} , assim como o espectro 4c, que tem bandas semelhantes em 498 e 1096 cm^{-1} , as de menor deslocamento Raman pode ser atribuída a um modo de rede $\alpha\text{-Ni(OH)}_2$, enquanto que a de maior deslocamento é atribuída à modo de rede de segunda ordem do $\alpha\text{-Ni(OH)}_2$ (HALL et al., 2012).

Nos espectros 4b e 4c a banda referente ao estado vibracional ν_1 do NO_3^- não está presente, pois há possibilidade de não ter ocorrido a excitação das moléculas NO_3^- ao estado vibracional em questão. Também a banda em torno de 720-780 cm^{-1} , não estão presentes

Figura 3 – Espectros de infravermelho (a) $\alpha\text{-Ni(OH)}_2$; (b) $\alpha\text{-Ni(OH)}_2/\text{CB}$; (c) $\alpha\text{-Ni(OH)}_2/\text{NTC}$; (d) $\alpha\text{-Ni(OH)}_2/\text{grafite}$ liofilizados

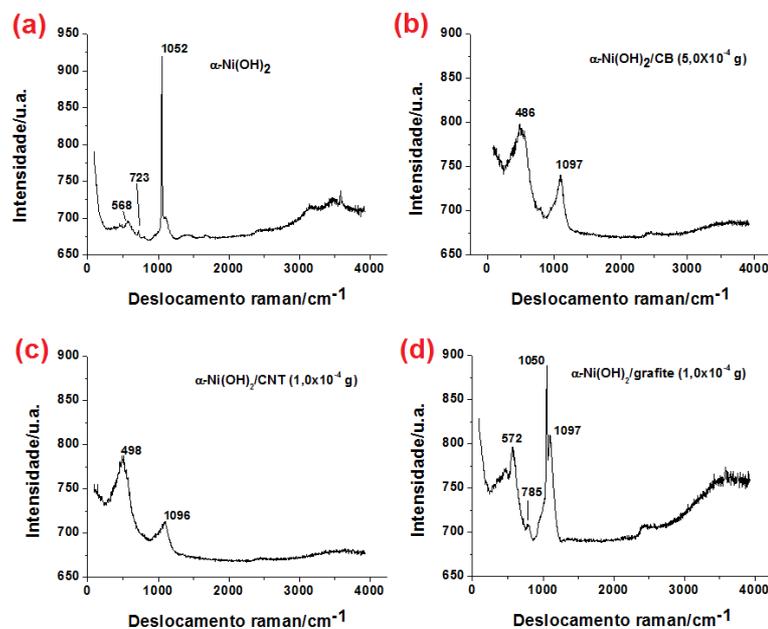


nos espectros das Figuras 4b e 4c, por serem de baixa intensidade e estreitas, estas podem ter sido omitidas pela banda em aproximadamente 490 cm^{-1} . No espectro 4d tem banda em 1097 cm^{-1} de média intensidade, pode ser atribuída ao modo de rede de segunda ordem do $\alpha\text{-Ni(OH)}_2$. Em 1050 cm^{-1} há uma banda intensa e estreita característica de modos vibracionais ν_1 de NO_3^- livres. Em 785 cm^{-1} há uma banda fraca referente a modos vibracionais de NO_3^- livres e uma banda referente a modos de rede do $\alpha\text{-Ni(OH)}_2$ pode ser observada em 572 cm^{-1} (HALL et al., 2012).

Nos espectros Raman e de FTIR observou-se a presença principalmente de NO_3^- , OH^- , NH_4^+ em todos os compósitos. Que devem estar intercalados nas estruturas dos compósitos, ou seja, entre os planos do $\alpha\text{-Ni(OH)}_2$ e adsorvidos nos materiais carbonáceos. Podendo alguns destes íons terem sido inseridos nos NTCs e entre os planos do grafite. Estes íons presentes nas estruturas dos compósitos são essenciais para as pretensões de se obter um material que possa armazenar maior quantidade de carga e possui maior condutibilidade de corrente elétrica.

Analisando a morfologia dos materiais obtidos por MEV, nota-se que há pouquíssima diferença entre as morfologias dos materiais sintetizados. Sendo que estes consistem principalmente de agregados granulares, além de apresentarem espaços vazios em sua estrutura. A Figura 5 mostra as imagens com ampliação de 30000x. Pode-se observar que os “grãos” que formam os agregados têm dimensões variadas, podendo ser 20 vezes menor do que a escala (2,0 μm) até igual este valor.

Figura 4 – Espectros Raman (a) $\alpha\text{-Ni(OH)}_2$; (b) $\alpha\text{-Ni(OH)}_2/\text{CB}$; (c) $\alpha\text{-Ni(OH)}_2/\text{NTC}$; (d) $\alpha\text{-Ni(OH)}_2/\text{grafite}$.



Essa variação nas dimensões do $\alpha\text{-Ni(OH)}_2$ pode ter sido ocasionada pelo fato de que em alguns pontos o fenômeno de formação e colapso das bolhas durante a síntese não foi muito rápida. E isto, permitiu que nesses pontos ocorresse crescimento maior das estruturas. A presença de espaços vazios é interessante para estes materiais, pois quanto maior número de espaços vazios mais íons podem acessá-los, e assim aumentar a passagem de elétrons por estes materiais (XIE et al., 2012). Pelas escalas

das imagens, há vazios na morfologia do material de 5,0 μm , espaço mais do que suficiente para tantos íons quanto moléculas adentrarem na estrutura dos compósitos.

Caracterização Eletroquímica

No intuito de determinar qual quantidade de CB e grafite seria a melhor em combinação com o $\alpha\text{-Ni(OH)}_2$, realizaram-se voltametrias cíclicas com todos materiais obtidos nas diferentes rotas sintéticas. Deste modo, pode-se observar os picos de oxidação e redução ($\alpha\text{-Ni(OH)}_2 + e^- \rightleftharpoons \alpha\text{-NiOOH}$) do $\alpha\text{-Ni(OH)}_2$ e como a quantidade de material carbonáceo os afeta.

A Figura 6 apresenta a voltametria cíclica do $\alpha\text{-Ni(OH)}_2$ com diferentes quantidades de *carbon black* (I) e grafite (II). Pela Figura 6(I) pode se notar que com acréscimo da quantidade de CB utilizada ocorre o aumento na intensidade dos picos anódico e catódico, isso é esperado devido às propriedades físicas do *carbon black*, como a grande área superficial e porosidade. Assim, eletrólitos/íons podem ser absorvidos na sua superfície aumentando o fluxo de elétrons (CHUNG, 2002; TANG et al., 2010). Entretanto, era esperado que o compósito com $7,5 \times 10^{-4}$ g de CB obtivesse maior pico de corrente, devido a maior massa de CB (maior fluxo de elétrons).

Figura 5 – Imagens MEV ampliadas 30000x de (a) $\alpha\text{-Ni(OH)}_2$; (b) $\alpha\text{-Ni(OH)}_2/\text{CB}$; (c) $\alpha\text{-Ni(OH)}_2/\text{NTC}$; (d) $\alpha\text{-Ni(OH)}_2/\text{grafite}$.

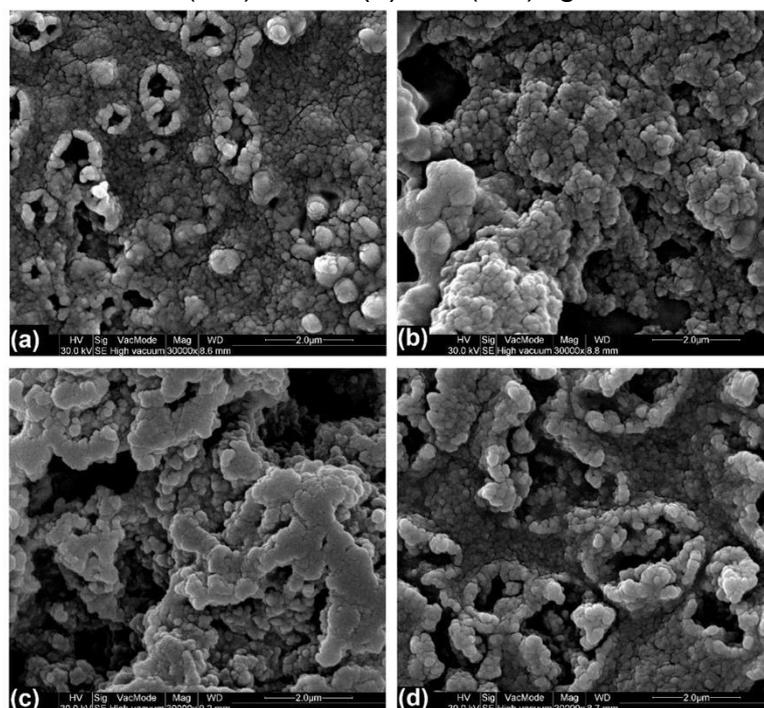
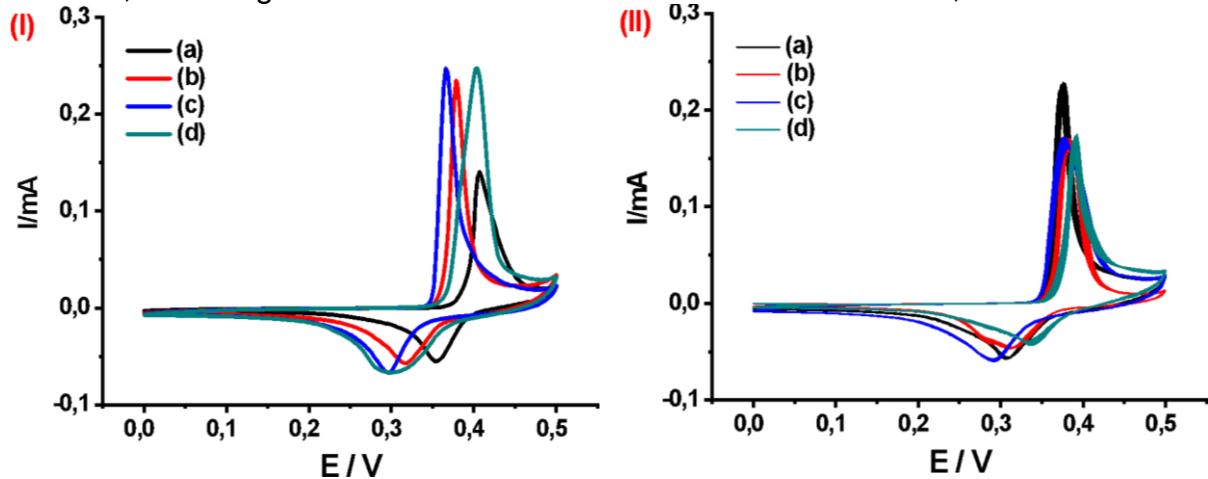


Figura 6 – Voltametrias cíclicas do α -Ni(OH)₂ com diferentes quantidades de (I) *carbon black* e (II) grafite. (a) $1,0 \times 10^{-4}$ g; (b) $2,5 \times 10^{-4}$ g; (c) $5,0 \times 10^{-4}$ g e (d) $7,5 \times 10^{-4}$ g. Velocidade de varredura de 25 mV s^{-1} . KOH $1,0 \text{ mol L}^{-1}$.



Mas, este apresenta quantidades semelhantes de passagem de elétrons ao compósito com $5,0 \times 10^{-4}$ g de CB. Este fato pode ser associado a uma saturação dos poros ou da própria superfície do *carbon black*. Para escolher o compósito contendo CB foi observada a diferença entre os máximos dos picos catódicos e anódicos ($\Delta E_{a,c}$) (WANG et al., 2002). No compósito com $5,0 \times 10^{-4}$ g de CB esta diferença é menor, logo há maior reversibilidade da reação (WANG et al., 2002). Não obstante, o pico anódico do compósito com $7,5 \times 10^{-4}$ g de CB está deslocado para maior potencial, requisitando mais energia para realizar a reação de oxidação. Além disso, no compósito com $5,0 \times 10^{-4}$ g de CB as cinéticas das reações catódicas e anódicas são mais semelhantes, que teoricamente, facilidade a reversibilidade química.

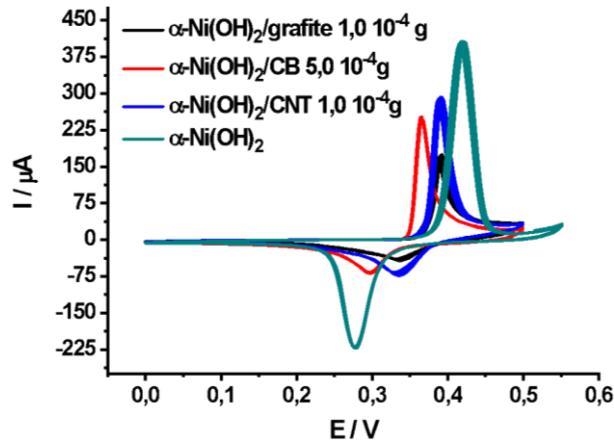
Por outro lado, os compósitos sintetizados com grafite demonstraram comportamento diferente. A Figura 6(II) apresenta os voltamogramas cíclicos dos compósitos contendo grafite. O aumento da quantidade de grafite no compósito acarretou a diminuição da intensidade dos picos de oxidação e redução do material, mas os três compósitos com maior quantidade de grafite apresentaram comportamentos semelhantes. Neste caso, os $\Delta E_{a,c}$ foram muito próximos, obtendo valores aproximados de 0,066; 0,070; 0,083 e 0,055 V para os compósitos com 1,0; 2,5; 5,0 e $7,5 \times 10^{-4}$ g de grafite, respectivamente. Pode-se ainda observar na Figura 6(II) que o compósito contendo $7,5 \times 10^{-4}$ g de grafite tem seu pico anódico deslocado para maiores potenciais e o seu pico catódico apresenta ser mais largo que os outros. Isto significa que nesta reação de redução a cinética está mais lenta em comparação

com os outros, caracterizando baixa reversibilidade eletroquímica. Além da reversibilidade química da reação o compósito com $1,0 \times 10^{-4}$ g de grafite apresenta boa reversibilidade eletroquímica. Por esses motivos nota-se que o compósito com $1,0 \times 10^{-4}$ g de grafite se destaca entre os outros. Os resultados da voltametria cíclica do compósito com grafite confirmam que o grafite não reagiu de forma satisfatória com o Ni(OH)_2 . Conforme indicado nos difratogramas (Figura 1), este compósito não teve alteração significativa em sua estrutura cristalina comparando-o ao Ni(OH)_2 puro. Este fato deve-se provavelmente ao tamanho das partículas do grafite, uma vez que CB e NTC possuem partículas menores e interagem com o Ni(OH)_2 .

Era de se esperar comportamento distinto entre os compósitos com CB e grafite. Esta distinção pode ser atribuída ao fato de que o grafite e o CB possuem estruturas diferentes, enquanto o CB possui poros o grafite é formado por folhas de carbono hibridização sp^2 (CHUNG, 2002; TANG et al., 2010; WU et al., 2012). Isto foi observado nas voltametrias, pois os compósitos com maior quantidade de *carbon black* foram melhores do que aqueles com pouca. E, os compósitos com menor quantidade de grafite foram melhores do que aqueles com maior. Isto pode ser pelo fato de que no caso do CB, quanto mais CB, maior quantidade de poros, e logo, maior área superficial para adsorção de íons podendo contribuir para maior condutibilidade do material (CHUNG, 2002; LIU et al., 2010). No caso do grafite, que possui partículas maiores e menor área superficial em relação ao CB, a quantidade de grafite em excesso afetou as qualidades do $\alpha\text{-Ni(OH)}_2$ e causando diminuição na transferência de carga. Ni(OH)_2 .

A Figura 7 apresenta os voltamogramas cíclicos dos compósitos de CB e grafite com melhores performances junto aos contendo NTC e do $\alpha\text{-Ni(OH)}_2$ puro. Pelos resultados obtidos é possível observar que todos os materiais contendo grafite, *carbon black* ou nanotubos de carbono afetaram as reações catódicas e anódicas do $\alpha\text{-Ni(OH)}_2$, diminuindo a quantidade de carga que passa na célula eletroquímica. Contudo, a $\Delta E_{a,c}$ diminuiu nos três compósitos, e isso indica o aumento de reversibilidade. Entretanto, o compósito de Ni(OH)_2 tem cinéticas de reações catódicas e anódicas mais semelhantes, o que torna a reversibilidade eletroquímica maior.

Figura 7 – Comparação entre o comportamento dos compósitos de contendo materiais carbonáceos de melhor performance e do α -Ni(OH)₂ puro. Velocidade de varredura de 25 mV s⁻¹. KOH 1,0 mol L⁻¹.



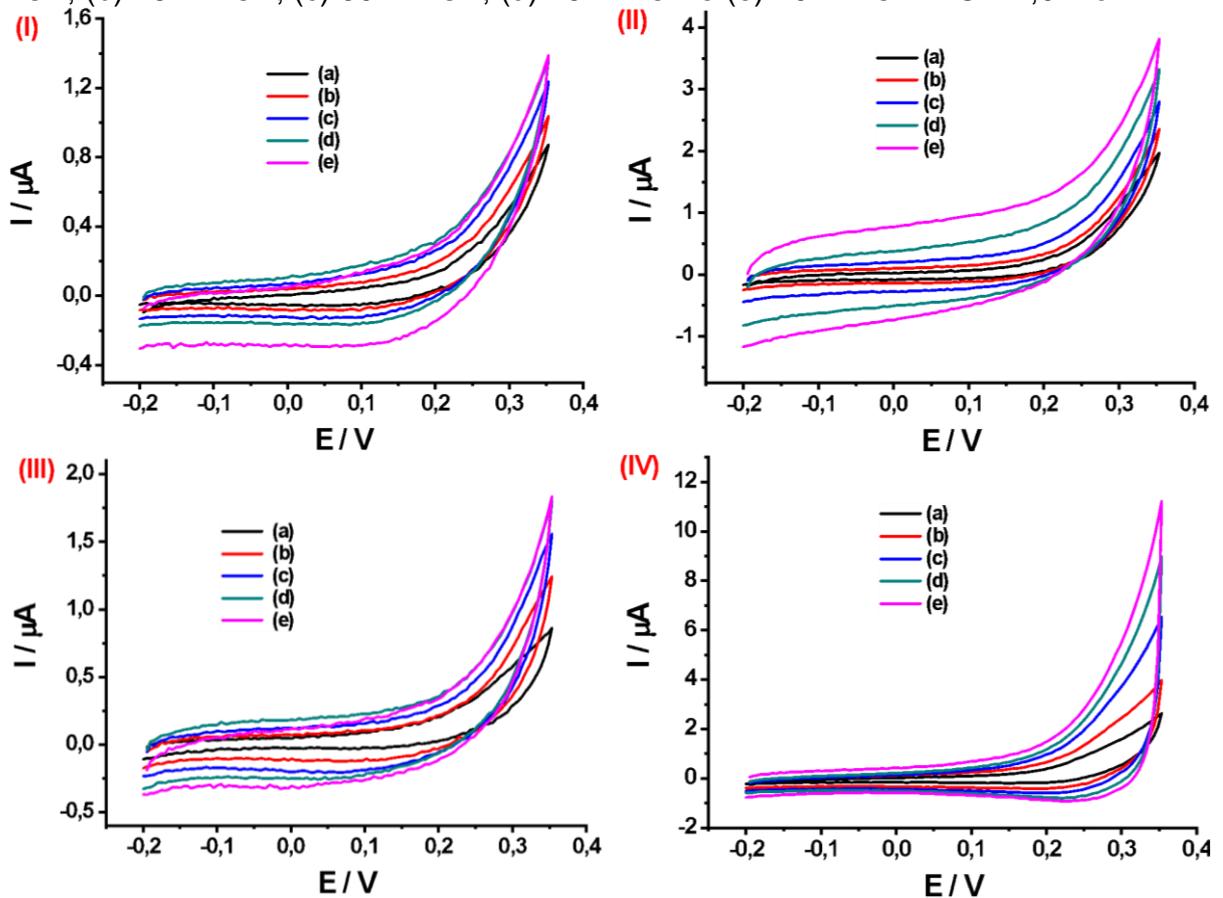
De modo a averiguar qual dos compósitos possui melhor desempenho, as capacitâncias destes foram analisadas. Em uma curva de capacitância quanto mais próxima de uma forma retangular melhor as propriedades capacitivas do material (considerando capacitor de dupla camada elétrica). Na Figura 8(I), o α -Ni(OH)₂ nanoestruturado apresentou, na voltametria cíclica, um curva de capacitância retangular até próximo de +0,2 V. Após esse potencial ocorre uma reação anódica na superfície do eletrodo. Além disso, a curva mantém o padrão conforme a velocidade de varredura é elevada. Isto significa que o material tem capacidade para grandes transportes de carga, entretanto como capacitância do α -Ni(OH)₂ é governada por reações faradáicas, o hidróxido de níquel sozinho não tem propriedades capacitivas satisfatórias (LIU et al., 2010; VANGARI; PRYOR; JIANG, 2013; ZHAI et al., 2011).

A Figura 8(II) exibe a voltametria cíclica para estudo da capacitância do compósito contendo $5,0 \times 10^{-4}$ g de CB. Nota-se que as curvas de capacitância aumentaram em comparação com o Ni(OH)₂. Assim como o hidróxido de níquel, o compósito de *carbon black* mantém o padrão conforme a velocidade de varredura se eleva. O aumento das curvas de capacitância mostra que este compósito, devido às propriedades do material carbonáceo, possui maior capacitância em comparação ao hidróxido puro. Além disso, mantém as propriedades do Ni(OH)₂, já que no potencial de 0,2 V ocorre sua reação de oxidação.

Conforme é possível constatar nas Figura 8(III) e 8(IV), os compósitos contendo grafite e nanotubos de carbono também apresentaram nas voltametrias comportamento semelhante aos compósitos de hidróxido de níquel puro e aquele com CB. O padrão da voltametria se mantém. Nos compósitos de CB e CNT isto fica bem evidente,

enquanto que para os outros dois compósitos, $\alpha\text{-Ni(OH)}_2$ e $\alpha\text{-Ni(OH)}_2/\text{grafite}$, isto acontece até a velocidade de varredura de 75 mV s^{-1} . Os voltamogramas dos compósitos $\alpha\text{-Ni(OH)}_2$ e $\alpha\text{-Ni(OH)}_2/\text{grafite}$ nas velocidades de varredura de 75 e 100 mV s^{-1} apresentaram tamanho muito semelhante (KOBAYASHI et al., 2013).

Figura 8 – Voltametrias cíclicas para estudo da capacitância do $\alpha\text{-Ni(OH)}_2$ (I) puro, (II) -CB; (III) -grafite; (IV) -NTC em diferentes velocidades de varreduras. (a) 100 mV s^{-1} ; (b) 75 mV s^{-1} ; (c) 50 mV s^{-1} ; (d) 25 mV s^{-1} e (e) 10 mV s^{-1} . KOH $1,0 \text{ mol L}^{-1}$.



Também foram realizadas as voltametrias cíclicas dos materiais carbonáceos puros e com tratamento sonoquímico. Este procedimento foi feito com intuito de averiguar as propriedades capacitivas destes materiais, e se, de alguma forma, o tratamento sonoquímico modifica estas propriedades. A Figura 9 exibe as voltametrias cíclicas destas análises.

Pelos voltamogramas é possível observar que o tratamento sonoquímico altera as capacitâncias dos materiais. Todos os materiais carbonáceos CB, NTC e grafite tiveram suas capacitâncias diminuídas após o tratamento sonoquímico. Sendo está diminuição muito mais acentuada para o CB, diminuindo sua faixa de corrente de $6 \mu\text{A}$ e à próxima de zero. Diferentemente dos outros o *carbon black* apresentou apenas reações não faradáicas, enquanto grafite e NTC apresentam reações faradáicas.

Provavelmente, devido a impurezas ou óxidos presentes na superfície destes materiais. Além disso, observando as escalas das Figuras 8(IV) e Figura 9, o CB puro apresenta capacitância mais elevada do que o grafite e o NTC com tratamento sonoquímico ou não.

Comparando as voltametrias dos materiais carbonáceos puros e com tratamento sonoquímico e dos compósitos, fica claro que para o compósito de grafite apresentou um leve aumento na capacitância em comparação à voltametria do grafite puro. Para o NTC também houve aumento da capacitância, este aumento ficou na região em que ocorre a reação $\alpha\text{-Ni(OH)}_2 \rightleftharpoons \gamma\text{-NiOOH} + \text{H}^+ + e^-$. Isto, muito possivelmente devido as propriedades do NTC que facilitaram a transferência de carga para o hidróxido de níquel, deste modo, a passagem de elétrons aumentou a capacitância. O compósito de CB apresentou melhora de rendimento em comparação ao CB com tratamento sonoquímico, mas em relação ao CB puro houve uma perda de capacitância. Não está muito claro, mas uma possível explicação é que com a combinação do CB ao hidróxido de níquel, o compósito tende a apresentar comportamento faradáicos e não-faradáicos, perdendo parte de sua capacitância e ganhando velocidade de transferência de carga e menor resistência do material.

Para avaliar de forma mais completa as propriedades capacitivas destes materiais é necessário calcular a capacitância específica de cada material. Isto é feito por meio da equação (3) (TANG et al., 2014):

$$C = \frac{\int_{V_0}^V I(V) dV}{mv(V-V_0)} \quad (1)$$

Em que I é a corrente, m massa ativa do eletrodo, v a velocidade de varredura, V potencial e logo $V-V_0$ a janela de potencial (CHEN et al., 2010; TANG et al., 2014).

Deste modo, as capacitâncias específicas calculadas para os quatros materiais podem ser notadas na Tabela 1, sendo que estas foram calculadas apenas utilizando a maior velocidade de varredura (100 mV s^{-1}). A contribuição de reações não-faradaicas dos materiais carbonáceos é notada pela diferença das curvas de capacitâncias do compósito $\alpha\text{-Ni(OH)}_2$ e aqueles contendo grafite e NTC. Além da diferença do formato das curvas, fica claro com a capacitância específica que

realmente tanto grafite quanto o NTC, podem aumentar a capacitância de óxido ou hidróxidos de metais.

Pelo cálculo das capacitâncias fica evidente que, os materiais carbonáceos aumentaram consideravelmente a capacitância específica em comparação ao hidróxido de níquel. Com exceção do α -Ni(OH)₂/grafite, que teve aumento de capacitância pouco relevante, os outros apresentaram comportamentos satisfatórios. O compósito com *carbon black* teve um aumento de 3,81 vezes a capacitância do α -Ni(OH)₂, enquanto que o compósito contendo nanotubo de carbono teve aumento de 5,94 vezes. Na Figura 10 pode-se observar as voltametrias cíclicas dos materiais em velocidade de varredura de 100 mV s⁻¹. Nesta figura fica claro que o α -Ni(OH)₂/NTC apresenta maior área em comparação aos outros compósitos, logo sua capacitância também é mais elevada. Tendo, o α -Ni(OH)₂/CB com a segunda melhor performance, e os outros dois compósitos com comportamento e áreas aparentes muito semelhantes. Sendo assim, as contribuições do grafite ao hidróxido e níquel são pouco relevantes. Xing et al. 2012 apresentam um eletrodo de α -Ni(OH)₂ capacitância específica de 1718 F g⁻¹ a velocidade de varredura de 5 mV s⁻¹ (XING et al., 2012), enquanto Chen; Gu et al. 2010 produziram eletrodos a base de MnO₂ de 1250 F g⁻¹ em velocidade de varredura de 2 mV s⁻¹ (CHEN et al., 2010). E Yang, Wu et al. 2012, utilizando óxido de grafeno em conjunto ao α -Ni(OH)₂ compósito com capacitância específica de 1760,72 F g⁻¹ em velocidade varredura de 5 mV s⁻¹ (YANG et al., 2012).

Para o cálculo de capacitâncias específicas dos materiais sintetizados neste trabalho considerou-se o rendimento de 100% da síntese. Porém, numa condição real é improvável que isso aconteça, para não dizer impossível. Este raciocínio leva a crer que, mesmo com um rendimento abaixo do integral, os materiais sintetizados neste trabalho obtiveram bom desempenho.

Figura 9 – Voltametrias cíclicas com velocidade de varredura de 100 mV s^{-1} para estudo de capacitância de (a) carbon black; (b) grafite e (c) nanotubo de carbono. $\text{KOH } 1,0 \text{ mol L}^{-1}$.

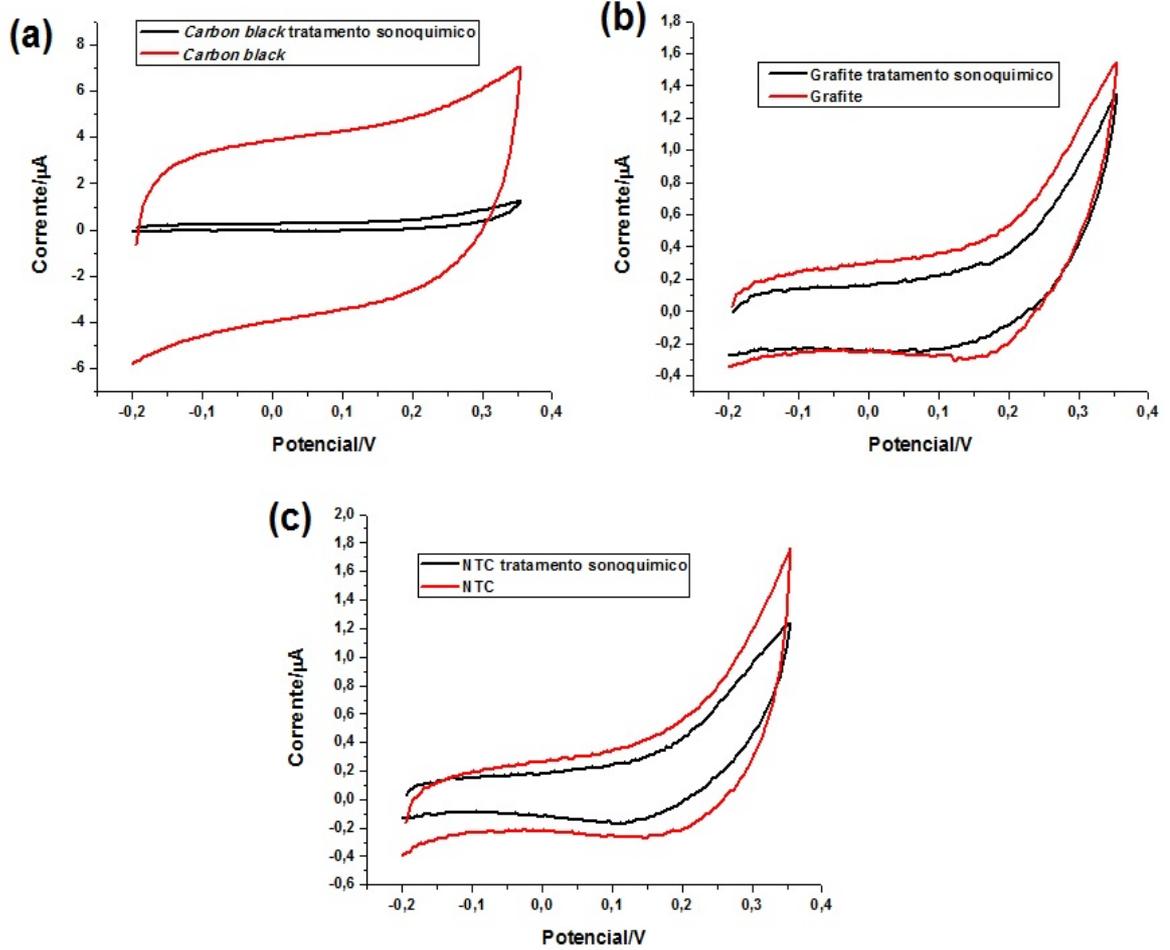
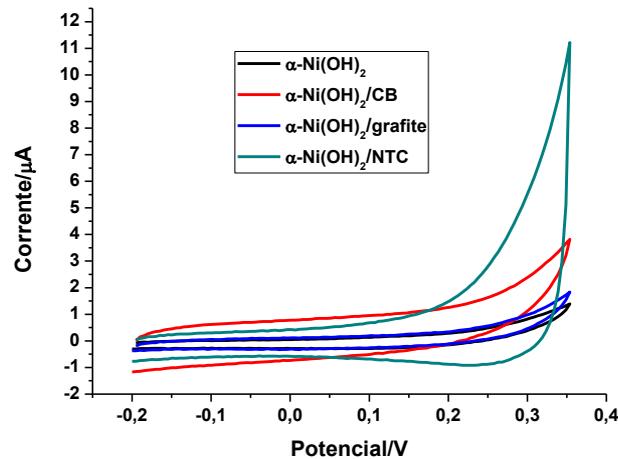


Tabela 1 – Capacitâncias específicas dos compósitos α -Ni(OH)₂/CB $5,0 \times 10^{-4}$ g; α -Ni(OH)₂/NTC $1,0 \times 10^{-4}$ g; α -Ni(OH)₂/grafite $1,0 \times 10^{-4}$ g e α -Ni(OH)₂ em velocidade de varredura de 100 mV s^{-1} .

Compósito	α -Ni(OH) ₂ /CB	α -Ni(OH) ₂ /NTC	α -Ni(OH) ₂ /grafite	α -Ni(OH) ₂
Capacitância específica / F g^{-1}	662,77	1034,21	198,46	173,83

Figura 10 – Comparação entre os perfis dos compósitos contendo materiais carbonáceos de melhor performance e do α -Ni(OH)₂ puro, em velocidade de varredura de 100 mV s^{-1} . KOH $1,0 \text{ mol L}^{-1}$.



CONCLUSÃO

Utilizando método simples, Ni(OH)₂ foi sintetizado puro e em conjunto com materiais carbonáceos, estes sendo carbon black, nanotubos de carbono e grafite. As caracterizações físicas mostraram que o Ni(OH)₂ sintetizado apresentava fase α , amorfa ideal para processos eletroquímicos devido a sua estrutura e separação de lamelas. Além disso, no MEV os materiais exibiram morfologias semelhantes. Dentre as variações de massa utilizadas para os compósitos contendo CB e grafite sobressaíram aqueles contendo $5,0 \times 10^{-4}$ e $1,0 \times 10^{-4}$ g de material carbonáceo, respectivamente. Na voltametria cíclica apesar do α -Ni(OH)₂ puro apresentar maiores picos anódicos e catódicos, os compósitos com materiais carbonáceos mostraram ser mais reversíveis devido a menor diferença entre os picos redox. O α -Ni(OH)₂ puro exibiu uma capacitância igual a $173,83 \text{ F g}^{-1}$ e teve o perfil de sua voltametria cíclica próximo ao retangular, mas com certa inclinação, ou seja,

com leve resistência do material. O α -Ni(OH)₂/CB apresentou maior capacitância específica 662,77 F g⁻¹, entretanto mostrou ter alta resistência ao fluxo de elétrons em relação aos outros materiais. O α -Ni(OH)₂/ grafite e α -Ni(OH)₂/NTC apresentaram 198,46 e 1034,21 F g⁻¹ respectivamente.

No estudo de impedância eletroquímica observou-se o tratamento sonoquímico afeta o comportamento dos materiais carbonáceos puros. Além disso, a mudança do eletrólito afeta drasticamente o sistema. Pois, o α -Ni(OH)₂ teve desempenho ruim em comparação ao estudo das capacitâncias, enquanto que os compósitos com materiais carbonáceos no sentido contrário mostraram melhores propriedades capacitivas neste estudo. Isto leva a crer que os compósitos α -Ni(OH)₂/matérias carbonáceas teriam aplicabilidade em eletrodos de supercapacitores.

REFERÊNCIAS

- CHEN, W. et al. Enhanced capacitance of manganese oxide via confinement inside carbon nanotubes. **Chemical Communications**, v. 46, n. 22, p. 3905, 2010.
- CHUNG, D. D. L. Review graphite. **Journal of Materials Science**, v. 37, n. 8, p. 1475–1489, 2002.
- HALL, D. S. et al. Raman and infrared spectroscopy of α and β phases of thin nickel hydroxide films electrochemically formed on nickel. **The Journal of Physical Chemistry A**, v. 116, n. 25, p. 6771–6784, 28 jun. 2012.
- HALL, D. S. et al. Nickel hydroxides and related materials: a review of their structures, synthesis and properties. **Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 471, n. 2174, p. 20140792, 8 fev. 2015.
- JAYALAKSHMI, M.; BALASUBRAMANIAN, K. Simple capacitors to supercapacitors - an overview. **International Journal of Electrochemical Science**, v. 3, n. 11, p. 1196–1217, 2008.
- JENKINS, R.; SNYDER, R. L. Introduction to X-ray powder diffractometry. **Choice Reviews Online**, v. 34, n. 05, p. 34-2807-34–2807, 1997.
- KOBAYASHI, N. et al. Investigation on capacitive behaviors of porous Ni electrodes for electric double layer capacitors. **Electrochimica Acta**, v. 90, p. 408–415, fev. 2013.
- LI, J. et al. Synthesis, characterization and electrochemical performance of high-

density aluminum substituted α -nickel hydroxide cathode material for nickel-based rechargeable batteries. **Journal of Power Sources**, v. 270, p. 121–130, dez. 2014.

LIU, C. et al. Advanced materials for energy storage. **Advanced Materials**, v. 22, n. 8, p. E28–E62, 23 fev. 2010.

LIU, C.; LI, Y. Synthesis and characterization of amorphous α -nickel hydroxide. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 478, n. 1–2, p. 415–418, jun. 2009.

PAVIA, D. L.; LAMPMAN, G. M.; KRIZ, G. S. **Introduction to spectroscopy : a guide for students of organic chemistry**. 3rd. ed. [s.l.] Thomson Learning, 2001.

SALAVATI-NIASARI, M. et al. Simple hydrothermal synthesis of nickel hydroxide flower-like nanostructures. **Journal of Cluster Science**, v. 24, n. 1, p. 365–376, 26 mar. 2013.

SHARMA, P.; BHATTI, T. S. A review on electrochemical double-layer capacitors. **Energy Conversion and Management**, v. 51, n. 12, p. 2901–2912, dez. 2010.

SHUKLA, A. K. et al. Electrochemical capacitors: technical challenges and prognosis for future markets. **Electrochimica Acta**, v. 84, p. 165–173, dez. 2012.

SIMON, P.; GOGOTSI, Y. Materials for electrochemical capacitors. In: **Nanoscience and Technology**. [s.l.] Co-Published with Macmillan Publishers Ltd, UK, 2009. p. 320–329.

TANG, S. et al. Review of new carbon materials as catalyst supports in direct alcohol fuel cells. **Chinese Journal of Catalysis**, v. 31, n. 1, p. 12–17, jan. 2010.

TANG, Y. et al. Highly oxidized graphene anchored Ni(OH)₂ nanoflakes as pseudocapacitor materials for ultrahigh loading electrode with high areal specific capacitance. **The Journal of Physical Chemistry C**, v. 118, n. 43, p. 24866–24876, 30 out. 2014.

TANG, Z.; TANG, C.; GONG, H. A high energy density asymmetric supercapacitor from nano-architected Ni(OH)₂/Carbon Nanotube Electrodes. **Advanced Functional Materials**, v. 22, n. 6, p. 1272–1278, 21 mar. 2012.

VANGARI, M.; PRYOR, T.; JIANG, L. Supercapacitors: review of materials and fabrication methods. **Journal of Energy Engineering**, v. 139, n. 2, p. 72–79, jun. 2013.

VIDOTTI, M. et al. Electrocatalytic oxidation of urea by nanostructured nickel/cobalt hydroxide electrodes. **Electrochimica Acta**, v. 53, n. 11, p. 4030–4034, abr. 2008.

WANG, C. . et al. Ni/Al/Co-substituted α -Ni(OH)₂ as electrode materials in the nickel metal hydride cell. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 330–332, p. 802–805, jan. 2002.

WINTER, M.; BRODD, R. J. What are batteries, fuel cells, and supercapacitors?

Chemical Reviews, v. 104, n. 10, p. 4245–4270, 1 out. 2004.

WU, Z.-S. et al. Graphene/metal oxide composite electrode materials for energy storage. **Nano Energy**, v. 1, n. 1, p. 107–131, jan. 2012.

XIE, L. et al. $\text{Co}_x\text{Ni}_{1-x}$ double hydroxide nanoparticles with ultrahigh specific capacitances as supercapacitor electrode materials. **Electrochimica Acta**, v. 78, p. 205–211, set. 2012.

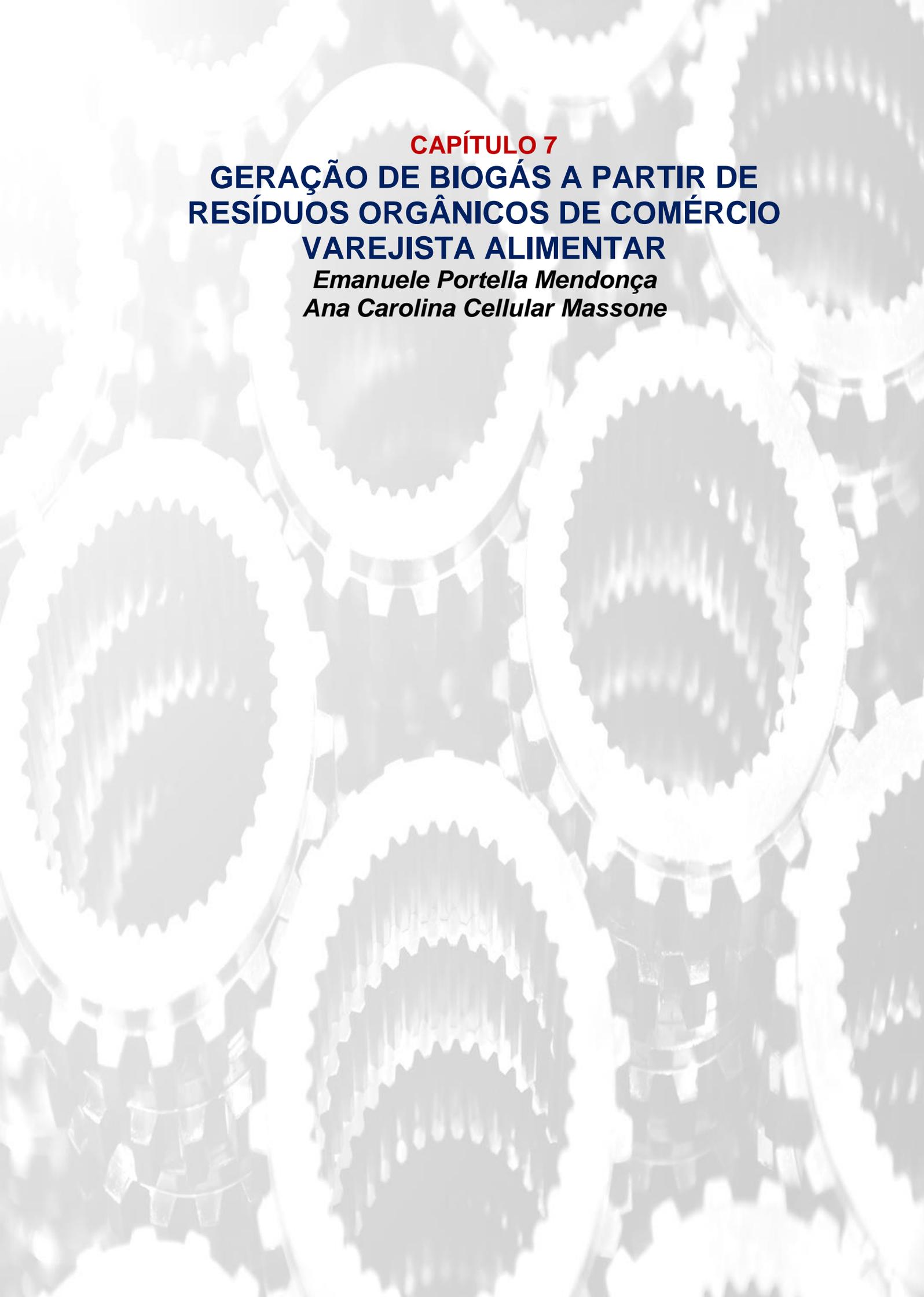
XING, S. et al. Synthesis of mesoporous $\alpha\text{-Ni(OH)}_2$ for high-performance supercapacitors. **Materials Letters**, v. 78, p. 99–101, jul. 2012.

YANG, S. et al. Spherical $\alpha\text{-Ni(OH)}_2$ nanoarchitecture grown on graphene as advanced electrochemical pseudocapacitor materials. **Chemical Communications**, v. 48, n. 22, p. 2773, 2012.

ZHAI, Y. et al. Carbon materials for chemical capacitive energy storage. **Advanced Materials**, v. 23, n. 42, p. 4828–4850, 9 nov. 2011.

ZHANG, L. L.; XIONG, Z.; ZHAO, X. S. A composite electrode consisting of nickel hydroxide, carbon nanotubes, and reduced graphene oxide with an ultrahigh electrocapacitance. **Journal of Power Sources**, v. 222, p. 326–332, jan. 2013.

ZHANG, Y. et al. Progress of electrochemical capacitor electrode materials: a review. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 34, n. 11, p. 4889–4899, jun. 2009.



CAPÍTULO 7
**GERAÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE
RESÍDUOS ORGÂNICOS DE COMÉRCIO
VAREJISTA ALIMENTAR**

Emanuele Portella Mendonça
Ana Carolina Cellular Massone

GERAÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS ORGÂNICOS DE COMÉRCIO VAREJISTA ALIMENTAR

Emanuele Portella Mendonça

Engenheira de produção com MBA em Gestão de Projetos, atuando com perdas no varejo alimentar.

Ana Carolina Cellular Massone

Matemática com Mestrado e Doutorado em Engenharia Mecânica, sócia da PITECG (Produção Inteligente Tecnologia e Gestão) e professora nos cursos do Mestrado Profissional em Ciências Ambientais, Engenharia de Produção e Civil e Administração da Unilasalle-RJ e da Universidade de Vassouras.

Resumo: A Economia Circular propõe o fechamento dos processos produtivos lineares, com a reinserção dos resíduos no ciclo produtivo, minimizando a disposição no ambiente e também a extração de matéria-prima. Para a Economia Circular, resíduos são matérias-primas que, embora sejam de segunda mão, apresentam considerável valor agregado. O gás como fonte de energia representa cerca de 7,1% de toda a energia consumida no Brasil e essa fonte é não renovável o que pode acarretar fim de vida, logo o biogás se torna uma solução viável. De forma a trazer a problemática da geração de resíduos no varejo alimentar para um cenário que identifica uma potencial alternativa transformadora deste passivo em uma solução que traz redução de despesas, destinação adequada e mitigação de emissão de gases de efeito estufa. O presente trabalho identifica a viabilidade da utilização de resíduos orgânicos para a geração de biogás, a partir de um biodigestor, destinado ao consumo interno em uma unidade de hortifrutigranjeiros. Para isso, foi realizada uma pesquisa sobre estudos de casos que similares e feito um levantamento dos dados de produção e a cotação do projeto para análise do retorno de um investimento. Os resultados mostram um retorno de seis meses para o investimento necessário no sistema proposto, sem complexidade para implementação e operação.

Palavras-chave: Biogás, economia circular, resíduos orgânicos.

Abstract: The Circular Economy proposes the closure of linear production processes, with the reinsertion of waste into the production cycle, minimizing disposal in the environment and also the extraction of raw material. For the Circular Economy, waste is a raw material that, although second-hand, has considerable added value. Gas as an energy source represents about 7.1% of all energy consumed in Brazil and this source is non-renewable, which can lead to end of life, so biogas becomes a viable solution. To bring the problem of waste generation in food retail to a scenario that identifies a potential alternative to transform this liability into a solution that brings

expense reduction, adequate disposal, and mitigation of greenhouse gas emissions, the present work identifies the viability of using organic residues to generate biogas, from a biodigester, intended for internal consumption in a vegetable and fruit plant. For this, research on similar study cases was done and a survey of the production data and the quotation of the project was carried out to analyze the return on investment. The results show a six-month payback for the investment required in the proposed system, with no complexity for implementation and operation.

Keywords: Biogas, circular economy, organic waste.

INTRODUÇÃO

No Brasil, embora ainda haja riqueza de recursos naturais, há a carência de iniciativas que trazem à tona a necessidade da busca por desenvolvimento sustentável de fato. No âmbito dos resíduos sólidos existe uma preocupação evidente que vem sendo abordada há anos, com destaque para a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Humano (CNUMAD), no Rio de Janeiro, em 1992 (Rio 92). Nesta agenda foi levantado um plano de ação global sobre desenvolvimento sustentável, que destaca quatro principais pontos referentes ao manejo de resíduos: reduzir a geração, aumentar a reutilização e reciclagem, promover depósitos e tratamentos saudáveis ambientalmente e ampliar o alcance dos serviços que se ocupam desses resíduos (FEITOSA; SILVA; BARREIROS, 2017). Esses pontos conectam-se com as diretrizes da Economia Circular em todos os sentidos e com o foco de que se deve evitar que haja desperdício uma vez que envolvem grande potencial para recuperação energética (TISI, 2019). Ou seja, nessa abordagem pode-se enfatizar que o gerenciamento de resíduos proporciona não só melhorias no desempenho ambiental, mas consideráveis benefícios econômicos como a produzir mais com menos, elevação da qualidade final dos produtos, mitigação das perdas envolvidas nos negócios etc.

O consumismo estabelecido na sociedade traz um efeito colateral com crescentes quantidades de resíduos produzidos. A ilusória praticidade, em um primeiro momento, esconde a necessidade de preocupar-se com as etapas posteriores à utilização de qualquer produto (CORREIA, 2019). A cada ano o Brasil alcança maiores índices de geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) (PAVI, 2016). Grande parte desse resíduo gerado ainda não é descartado da forma adequada, sendo disposto em lixões ou aterros controlados que não oferecem a possibilidade de

controle para proteção ambiental (CORREIA, 2019). Para o cenário recente, o Panorama 2020 da Abrelpe (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais) mostra que mais de 40% ainda é destinado de forma inadequada no meio ambiente. Além disso, em relação à composição dos RSU, há diversas origens que variam em função de fatores como sazonalidade e nível socioeconômico da população (PAVI, 2016). Predominantemente, temos a matéria orgânica que contempla sobras e perdas de alimentos, resíduos verdes e madeiras (Abrelpe, 2020).

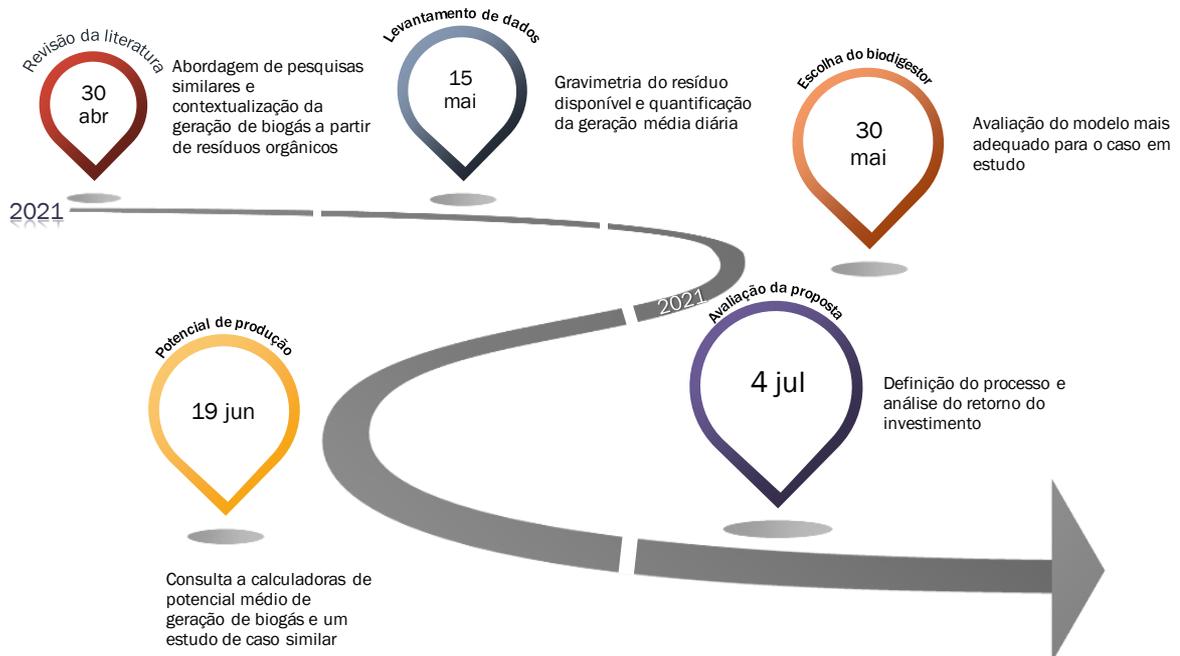
Portanto, é notada uma crescente demanda para a aplicação de tecnologias existentes que possibilitem uma melhor gestão, visando uma ampliação na oferta de alimentos nos próximos anos com impactos ambientais menores. Quando há descarte de resíduos orgânicos em locais não adequados, além da geração gases prejudiciais a camada de ozônio, é possível que haja o desenvolvimento e a proliferação de microrganismos patogênicos e contaminação de efluentes. Logo, busca-se idealmente o reaproveitamento quase por completo dos produtos, ou seja, com a destinação correta, todos os gases dos rejeitos são controlados e são utilizados de maneira apropriada (KOCHHANN; EISERMANN, 2018). Dentre as possibilidades para os resíduos de alimentos, a digestão anaeróbica é apontada como sendo o melhor método até o momento por apresentar o maior alinhamento nesse sentido, além de ser a mais sustentável, minimizando inclusive o aquecimento global (SLORACH et al., 2019).

Conectando essa problemática a uma oportunidade que culmina em incrementos para geração de energia renovável, é possível abordar o processo produtivo do biogás a partir da decomposição de resíduos. Em suma, transforma-se um passivo ambiental em ativo energético de valor econômico agregado (FILHO, 2018). Portanto, essa discussão objetiva abordar a construção de um biodigestor em uma loja de uma rede de hortifrutigranjeiros. Nessa proposta verifica-se o potencial da geração de biogás para consumo interno nas cozinhas da própria instalação, bem como a viabilidade econômica do investimento.

METODOLOGIA

Inicialmente foi realizada uma revisão bibliográfica focada no levantamento de materiais que abordassem a produção do biogás a partir de sobras de alimentos. Foram utilizadas calculadoras teóricas para produção de biogás a partir destes insumos, além de um estudo de caso similar. Além disso, houve consultas aos sistemas nacionais de informação e legislações relacionadas. O desenvolvimento foi pautado nos dados de perdas de uma unidade de uma rede varejista de hortifrutigranjeiros, entendendo o potencial do resíduo gerado para produção de biogás. O estudo também contou com dados de despesas da unidade que compõem a viabilidade financeira da proposta de instalação de um biodigestor que proporcione a alimentação dos fogões do estabelecimento com esta energia renovável. Por fim, conclui-se o potencial da proposta. Considerando o desenvolvimento, este estudo se classifica como qualitativo/ exploratório e a Figura 1 representa o fluxo descrito.

Figura 1: Etapas de desenvolvimento do trabalho.



Fonte: Elaborado pelas autoras.

DESENVOLVIMENTO

A geração de resíduos em uma unidade varejista no setor de hortifrutigranjeiros

A geração de resíduos orgânicos, posta como criticidade focal, fica evidente em uma unidade de hortifrutigranjeiros cuja produção mensal de resíduos provenientes apenas de frutas, legumes e verduras (FLV) ultrapassa a média de 10 toneladas mensais. É importante evidenciar que essa quantidade estimada se baseia somente nos dados declarados de perdas identificadas e doações realizadas pelo CNPJ da própria unidade. Levando isto em consideração, fazendo a comparação dessa quantidade com o total de perdas e doações registradas, identifica-se que esse resíduo de FLV representa 87,4% do total gerado em todas as categorias presentes no mix da unidade. Na Tabela 1 são expostas as quantidades, em quilos, de resíduos de FLV gerados no primeiro quadrimestre do ano de 2021:

Tabela 1- Quantidade em quilos gerada no primeiro quadrimestre de 2021.

Categoria	Subcategoria	Quantidade (kg)
Hortifruti	Frutas	9.402,89
	Legumes	11.824,94
	Ovos	12,96
	Temperos	2646,75
	Verduras	12309,96
Orgânicos	Frutas	420,29
	Legumes	879,98
	Ovos	10,08
	Temperos	282,6
	Verduras	1.249,80
Processados	Pré-preparados	894,63
	Prontos para Consumo	737,1
	Sucos e água de coco	1438,43
Total		42.110,41

Fonte: Elaborado pelas autoras.

De posse desses dados, é importante analisar inicialmente quais as categoriais e subcategorias serão viáveis para uso. De acordo com Kochhann e Eisermann, (2018), em uma mistura de frutas, legumes e verduras, cada item possui um valor de pH que interfere no processo de biodigestão visado para esta proposta. É importante que o pH esteja equilibrado na fase inicial do processo e não seja reduzido posteriormente, por isso, é importante evitar componentes ácidos que se concentram majoritariamente na categoria de frutas. Há a possibilidade de equilibrar a mistura adicionando outros componentes como cal por exemplo. Porém, considerando a ideia de gerar biogás usando apenas os resíduos que já são gerados e visando um fluxo de processo viável para a operação da unidade, foi estabelecido que o substrato para utilização no biodigestor será composto apenas de legumes e verduras.

Em relação ao processo operacional, não há complexidade ou custos relacionados ao manejo das atividades para produção de biogás. Todas as ações necessárias poderão ser facilmente administradas pelos colaboradores da unidade, não exigindo mão-de-obra com dedicação exclusiva já considerando sua simplicidade. É importante citar que faz necessário somente a alimentação do biodigestor com os resíduos que já são naturalmente separados para descarte, além da extração final do biofertilizante que é um segundo produto do processo, ambas tarefas diárias. Inclusive, expandindo o argumento dado anteriormente quanto a viabilidade dessa definição de processo que exclui os resíduos de frutas com base na primeira etapa, para que a separação não seja complexa, trazendo esforço operacional, exclui-se essa subcategoria que traz muitas exceções para uso.

A partir dessa definição, a disponibilidade de 350 kg de resíduos por dia passa a ser 250 kg de legumes e verduras. As subcategorias de frutas dentro das categorias de Hortifruti Convencional e Orgânicos, além de Processados Pronto para Consumo e Sucos foram desconsideradas para o substrato pois contém majoritariamente frutas em suas composições.

Dimensionamento do biodigestor e estimativa de geração de biogás

Correia (2019) lista os biodigestores existentes relacionando suas características, vantagens e desvantagens e a Tabela 2 a seguir sustenta a escolha para esta proposta.

Tabela 2- Comparativo entre os principais biodigestores.

Modelo	Característica	Vantagens	Desvantagens
Indiano	Alimentação contínua;	Fácil construção;	Alto custo de confecção;
	Paredes de alvenaria;	Pressão interna constante;	Sujeito a entupimentos na tubulação;
	Campânula móvel.	Requer pouco espaço.	Limitado em áreas de lençol freático alto.
Chinês	Alimentação contínua;	Requer pouco espaço;	Pressão interna variável;
	Feito em alvenaria;	Custo de confecção	Sujeito a entupimentos
	Campânula fixa;	Inferior ao modelo Indiano.	na tubulação.
	Princípio de prensa hidráulica.		
Marinha		Fácil construção e limpeza;	
	<i>Headspace</i> de lona de pvc;	Escavação rasa;	Vida útil limitada;
	Modelo raso e longo.	Custo baixo;	Lona sujeita a cortes.
		Maior produção com aumento de temperatura.	
Batelada	Alimentação descontínua;	Sistema simples;	Longos períodos para
	Conexão de vários tanques.	Operacionalmente fácil.	geração de biogás.

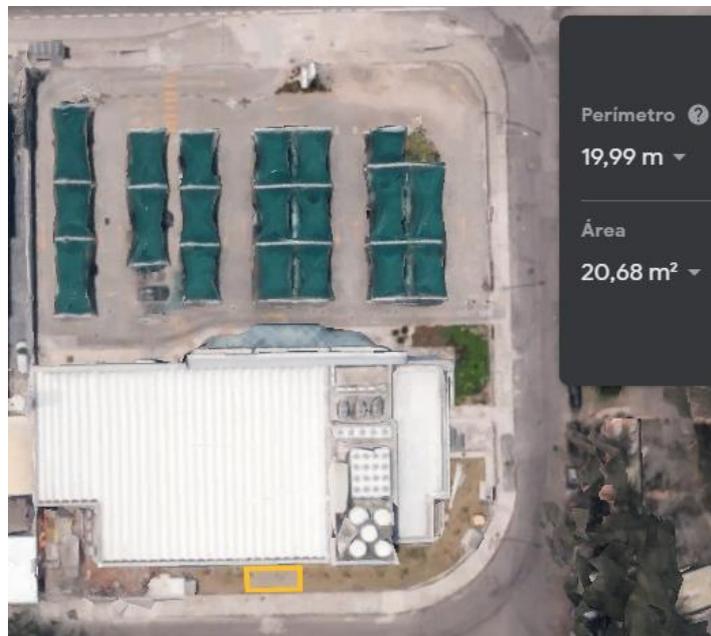
Fonte: Adaptado de Correia (2019).

Tratando-se de um local com pouca flexibilidade de alteração estrutural para construções aterradas, além da necessidade de simplicidade na gestão de todo o processo, da instalação ao processo diário operacional, e a geração contínua e diária de biogás, o modelo que melhor se adequa a esta proposta é o Marinha.

Uma empresa específica de equipamentos de biogás que trabalha com este tipo de biodigestor foi acionada para cotação de um sistema com capacidade máxima no aproveitamento do resíduo disponível na unidade. O maior modelo disponível tem 20m³ e absorve 150 kg de resíduo orgânico por dia. É importante citar que a limitação da capacidade da absorção de resíduos é menor quando se trata de composto orgânico que ainda não passou por fermentação. A hipótese de instalar mais um biodigestor para absorção dos 100kg diários restantes foi descartada em função da ampliação do investimento necessário.

A Figura 2 traz a visão aérea da unidade localizada no Rio de Janeiro. Em amarelo já está identificado o local da instalação do biodigestor, cuja dimensão física é de 6m de comprimento, 2,5m de largura e 1,1m de altura. Como pode-se confirmar, a área selecionada tem mais de 20 m², sendo suficiente para o equipamento. Além disso, possui exposição ao sol mantendo a temperatura favorável ao processo de biodigestão.

Figura 2- Visão aérea com demarcação da área para instalação em amarelo.



Fonte: Google Earth (2021).

A produção de biogás proveniente deste equipamento com o substrato caracterizado previamente foi estimada de quatro formas. A Tabela 3 traz a informação relacionando a fonte ao resultado, considerando a alimentação pretendida de 150 kg/dia no sistema:

Tabela 3- Estimativas de produção de biogás a partir do resíduo orgânico.

Fonte	Produção	Referência
1	21,23 m ³ /dia	Rocha (2016)
2	10,69 m ³ /dia	National Centre for Engineering in Agriculture - University of Southern Queensland (2021)
3	9,00 m ³ /dia	BITECO - Construction of modern biogas plants (2021)
4	18,97 m ³ /dia	BiogasWorld (2021)

Fonte: Elaborado pelas autoras.

Além disso, foi estimada a quantidade demandada na unidade atualmente conforme consumo apresentado nos últimos cinco meses: janeiro a maio de 2021. Por mês, a demanda de abastecimento das duas cozinhas industriais existentes é em média 291,29 m³, o que resulta em 9,71m³/dia. Sendo assim, observa-se que três das quatro estimativas buscadas alegam uma produção superior ao consumo atual. A única estimativa que não apresenta uma quantidade superior ainda se apresenta próxima ao consumo atual, portanto, não são considerados riscos de desabastecimento com a implementação desta proposta.

Cotação da proposta e análise de retorno de investimento

A proposta enviada pela empresa fornecedora do equipamento, juntamente com os demais custos para instalação resultam no total evidenciado na Tabela 4.

Tabela 4- Custos para instalação do equipamento.

Descrição	Quantidade	Valor unitário	Valor total
Biodigestor 20m ³	1	R\$ 11.590,00	R\$ 11.590,00
Válvula de alívio	1	R\$ 89,00	R\$ 89,00
Purificador	1	R\$ 290,00	R\$ 290,00
Bidim	65	R\$ 7,00	R\$ 455,00
Balão ARM-05	1	R\$ 1.690,00	R\$ 1.690,00
Medidor de vazão	1	R\$ 390,00	R\$ 390,00
Bomba de biogás	1	R\$ 429,00	R\$ 429,00
Frete do equipamento	-	R\$ 380,00	R\$ 380,00
Caixa de alvenaria	-	R\$ 2.000,00	R\$ 2.000,00
Encanamento e outros materiais	-	R\$ 1.000,00	R\$ 1.000,00
Mão-de-obra	-	R\$ 2.000,00	R\$ 2.000,00
2 fogões industriais de baixa pressão adaptados	-	R\$ 3.000,00	R\$ 3.000,00
Total			R\$ 23.313,00

Fonte: Elaborado pelas autoras.

Avaliando as despesas internas que serão mitigadas com a utilização do biodigestor para geração do biogás, temos a Tabela 5 demonstrando o tempo de retorno em meses, já considerando o investimento determinado acima.

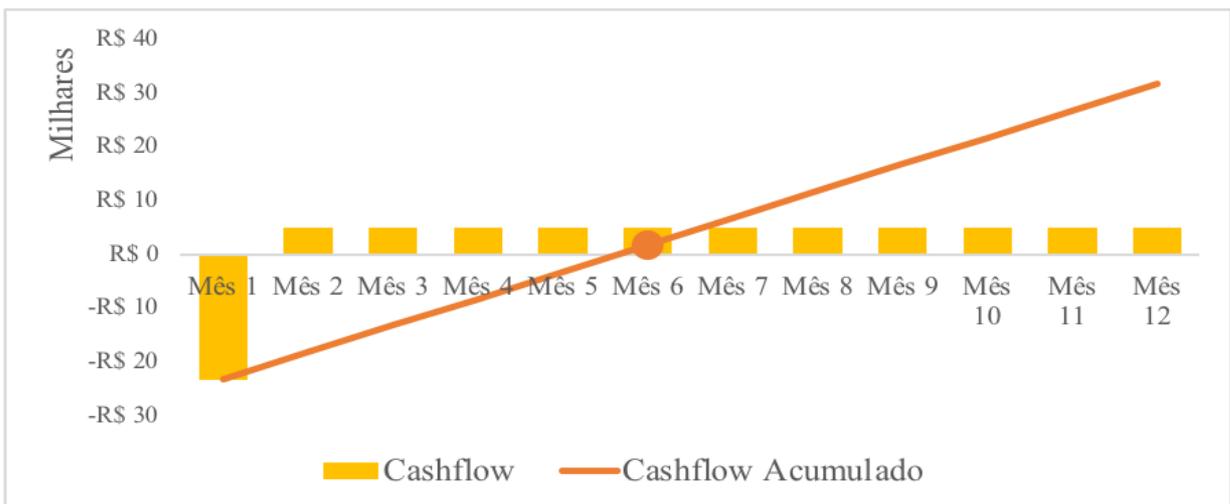
Tabela 5- Retorno do investimento.

Representatividade de 150kg no total diário	34%
Consumo de gás/mês (média janeiro-maio)	R\$ 2.623,58
Coleta de lixo/mês (média janeiro-maio)	R\$ 6.998,80
Coleta de Lixo - 150kg de FLV	R\$ 2.379,59
Total de despesas reduzidas por mês	R\$ 5.003,17
Tempo de retorno	5

Fonte: Elaborado pelas autoras.

É importante adicionar um mês para o cálculo efetivo do retorno pois o equipamento demora cerca de 30 dias para geração de biogás a partir do primeiro substrato adicionado. Ou seja, espera-se o retorno deste investimento em apenas seis meses. A partir do sexto mês, a loja contará com uma despesa reduzida em cerca de R\$ 5.000,00 e vale mencionar que a vida útil do equipamento cotado é de dez anos, o que oferece a confirmação da viabilidade do estudo. Consta a análise gráfica do payback com a demarcação do breakeven point no Gráfico 1.

Gráfico 1- Payback do investimento.



Fonte: Elaborado pelas autoras.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados mostraram a viabilidade do investimento necessário para este projeto que contempla um biodigestor para produção de biogás, além de explicar a simplicidade para implementação e operação do sistema. Como abordado, a utilização diária de 150 kg do resíduo gerado contribui internamente para redução de despesas com o gás de cozinha, a ser substituído por biogás, além de reduzir a despesa com retirada do lixo que é paga por volume a uma empresa terceirizada. É importante destacar que esse potencial destino para parte do resíduo orgânico garante que o material não se torne um rejeito disposto inadequadamente em locais como aterros onde naturalmente passam pelo processo de decomposição emitindo gases de efeito estufa na atmosfera e gerando chorume contaminado que compromete totalmente o solo local. Sendo assim, vale enfatizar o modelo de economia circular gerado na proposta. Ao finalizar as condições da mercadoria para comercialização, a mercadoria torna-se insumo para outro processo que inclusive agrega grande valor para a unidade de negócios. Oportunidades futuras incluem a expansão do nível de maturidade tecnológica do trabalho (TRL), a doação do biofertilizante gerado para fornecedores da própria rede, além de abordar outros benefícios potenciais como o marketing verde e as certificações ambientais.

REFERÊNCIAS

BIOGAS CALCULATIONS. **BiogasWorld**. Página inicial. Disponível em: <<https://www.biogasworld.com/biogas-calculations/>>. Acesso: 23 de maio de 2021.

BIOGAS CALCULATOR. **BITECO**: Construction of modern biogas plants. Página inicial. Disponível em: <<https://biteco-energy.com/biogas-calculator/>>. Acesso: 23 de maio de 2021.

Biogas Calculator. **National Centre for Engineering in Agriculture - University of Southern Queensland**. Disponível em: <<https://biogas.usq.edu.au/calculator/#!/calculate>>. Acesso: 23 de maio de 2021.

CORREIA, B. **Análise do potencial energético da codigestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos e efluentes gerados no campus A. C. Simões**. Dissertação (Mestrado em Energia da Biomassa) - Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, Alagoas, 2019.

FEITOSA, L., SILVA, L., BARREIROS, N. A importância do gerenciamento de resíduos alimentícios para minimizar os impactos ambientais. **Resíduos Sólidos**. Amazonas, 2017.

FILHO, D. **Estudo da influência de inóculos e desenvolvimento de reator horizontal no processo da biodigestão de resíduo sólido orgânico**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2018.

Google Earth. Disponível em: <<http://earth.google.com/>>. Acesso: 19 de junho 2021.

KOCHHANN, G., EISERMANN, W. **Condições de Partida de um Biodigestor Anaeróbico**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Horizontina. Horizontina, Rio Grande do Sul, 2018.

Panorama 2020 dos Resíduos Sólidos no Brasil. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE). Página inicial. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama-2020/>>. Acesso: 15 de maio de 2021.

PAVI, S. **Produção de biogás a partir da co-digestão da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos e resíduos de hortifrutigranjeiros**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo, Rio Grande do Sul, 2016.

RIZK, M. **Tratamento de resíduos frutihortícolas**. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Maringá. Maringá, Paraná, 2009.

ROCHA, C. **Proposta de implantação de um biodigestor anaeróbio de resíduos alimentares**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, Minas Geais, 2016.

SLORACH, P. et al. Environmental and economic implications of recovering resources from food waste in a circular economy. **Science of the Total Environment**. Elsevier, 2019.

TISI, Y. **Waste-to-Energy: Recuperação energética como forma ambientalmente adequada de destinação dos resíduos sólidos urbanos**. Synergia, 2019.



AUTORES

Ana Carolina Cellular Massone

Matemática com Mestrado e Doutorado em Engenharia Mecânica, sócia da PITECG (Produção Inteligente Tecnologia e Gestão) e professora nos cursos do Mestrado Profissional em Ciências Ambientais, Engenharia de Produção e Civil e Administração da Unilasalle-RJ e da Universidade de Vassouras.

Anderson Cristiano Rolim

Mestre em Engenharia Civil, Professor da E. T. Estadual 25 de Julho-Ijuí/RS e Engenheiro Civil da Prefeitura Municipal de Ijuí/RS, Brasil.

André Vinicius Azevedo Borgatto

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Viçosa em 1999, atualmente é Professor do Magistério Superior na Universidade Federal Rural de Pernambuco - UACSA. Possui pós-graduação em Gestão Ambiental pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, em 2003 e mestrado em Engenharia Civil - Geotecnia pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia - COPPE/UFRJ em 2006. Em 2010, conclui o doutoramento em Engenharia Civil - Geotecnia Ambiental, realizado em regime sanduíche entre o Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia - COPPE/UFRJ e a universidade Alemã Technische Universität Braunschweig. Como engenheiro, atuou na coordenação de diversos projetos e obras, com maior destaque ao seguimento de construção civil pesada, implantação industrial e instalações portuárias. Possui larga experiência com projetos nos setores públicos e privados, com destaque às indústrias do setor de óleo & gás e farmacêutico. Na academia, tem como principais linhas de interesse em pesquisa e extensão as áreas de conhecimento da geotecnia clássica e ambiental bem como a gestão de projetos e obras. Possui atuação em temas como gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, análise de estabilidade, sistema de disposição e tratamento de resíduos, instrumentação e monitoramento geotécnico, terraplenagem e fundações. Possui também experiência na coordenação de curso de Pós-Graduação onde esteve na condução, por mais de 03 anos, do curso de Engenharia Ambiental e Saneamento Básico na Universidade Estácio de Sá no Recife.

Bethania Brochier

Mestre e Doutora em Engenharia Química (área Fenômenos de Transporte e Operações Unitárias) pela UFRGS. Graduada em Engenharia de Alimentos pela UNISINOS. Docente dos cursos de graduação de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos na Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). Desenvolve projetos de PD&I em parceria com empresas do setor alimentício e em colaboração com grupos de pesquisa. Tem experiência nas áreas de Ciência e Tecnologia de Alimentos e Engenharia de Alimentos, atuando como autônoma na indústria de alimentos.

Bianca Alencar Moreira

Graduada em Engenharia Civil, UNESA, Rio de Janeiro-RJ.

Cecília Maria Mota Silva Lins

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (2005). Mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, na área de Geotecnia (2008). Doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, na área de Geotecnia (2014). Atualmente é professora adjunta da Universidade Federal de Pernambuco (UFRPE), Departamento de Tecnologia Rural. Coordenadora do Grupo de Pesquisa em Geotecnia e Tecnologia da Construção - GeoTec da UACSA/UFRPE. Participante do CITAR (Centro de Inovação Tecnológica Aplicada aos Recursos Naturais) e do LMCG/UFPE (Laboratório de Métodos Computacionais em Geomecânica). Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em geotecnia e meio ambiente, atuando principalmente nos seguintes temas: mecânica dos solos e rochas, interação rocha-fluido, geotecnia ambiental, geomecânica de reservatórios, tratamento de lixiviado, resíduos sólidos e ações mitigadoras.

Celso Henrique Farias Costa

Graduado em Engenharia Civil, UNESA, Rio de Janeiro-RJ.

Eduardo Antonio Maia Lins

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade de Pernambuco (2000). Especialista em Gestão Ambiental pela Universidade de Pernambuco (2012), tendo

obtido os títulos de Mestre (2003) e Doutor (2011) nos anos anteriores pela Universidade Federal de Pernambuco onde se especializou em Geotecnia Ambiental. Atualmente é Professor do Instituto Federal de Pernambuco (Campus Recife), onde coordena o Grupo de Poluição e Contaminação Ambiental do IFPE, lotado no departamento de Saneamento. Também leciona na Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP) no departamento de Engenharia Ambiental, Química, Ciências Biológicas e Civil, onde também é coordenador do Curso de Especialização "Gestão e Controle de Áreas Contaminadas por Resíduos Sólidos". Professor permanente do Mestrado do Instituto Tecnológico de Pernambuco (ITEP) na área de gestão de resíduos sólidos e contaminação ambiental, tendo concluído curso "Municipal Solid Waste Management in Developing Countries" pela École Polytechnique Fédérale de Lausanne da França. Perito Ambiental na área de Contaminação e Remediação de áreas contaminadas por resíduos sólidos.

Eduardo Jorge Nunes Cavalcanti

Graduando do curso de Engenharia Civil e do curso de Tecnólogo em Construção Civil - Edificações pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) - Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho (UACSA). Pesquisador do grupo de pesquisa GeoTec/Uacsa, tem como foco desenvolver estudos na área de Engenharia Civil, com ênfase nos aspectos relacionados com a geotecnia, tecnologia da construção civil e meio ambiente abordando problemas práticos da Engenharia.

Emanuele Portella Mendonça

Engenheira de produção com MBA em Gestão de Projetos, atuando com perdas no varejo alimentar.

Gabriela Fanck dos Santos

Mestranda do Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Santa Maria - RS, Brasil.

Giovanni Bóro Paschoal

Mestre em Química (Universidade Estadual de Londrina).

Guilherme Augusto Barros Gomes

Doutorando em Química (Universidade Estadual de Londrina – Departamento de Química), Bacharel e Mestre em Química.

Hérmany Nunes Martins de Barcelos

Graduado em Engenharia Civil, UNESA, Niterói-RJ.

José Victor Marconi Cunha

Graduado em Engenharia Civil, UNESA, Niterói-RJ.

Julia Helena Rossieri

Doutoranda em Química (Universidade Estadual de Londrina – Departamento de Química), Licenciada e Mestre em Química.

Luan Pereira Camargo

Doutorando em Química (Universidade Estadual de Londrina – Departamento de Química), Bacharel e Mestre em Química.

Luciano Francisco Flores da Rosa

Possui graduação em andamento em Engenharia Química pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS (10º Semestre), e Licenciatura em Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS (4º Semestre). Tem experiência na área de segurança do trabalho e sistemas de gestão da qualidade ISO 9001 da indústria Metal-mecânica atuando como Técnico em Segurança do Trabalho e auxiliar administrativo bilíngue. Atualmente é laboratorista de apoio ao ensino do laboratório de Saneamento ambiental coordenado pela professora Dra. Luciana Paulo Gomes do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS, desenvolvendo pesquisas na área de biodigestão anaeróbia de resíduos sólidos alimentares de restaurante em reator biodigestor de câmara única, tratamento de efluentes através de reator de manta de lodo anaeróbio de fluxo ascendente (UASB), estudos de tratamento e caracterização de lixiviado de aterros municipais e análise de contaminantes emergentes. Possui perícia em análises cromatográficas com experiência em cromatografia gasosa com detector FID e TCD,

HPLC com detector DAD UV/Vis e cromatografia iônica com corrente suprimida de cátions e ânions.

Luiz Henrique Dall’Antonia

Professor Associado (Universidade Estadual de Londrina – Departamento de Química), Doutor em Físico-química.

Maria Gabriella Detone Guaita

Doutorando em Química (Universidade Estadual de Campinas – Departamento de Química), Bacharel e Mestre em Química.

Marluci Mello de Souza

Mestranda em Engenharia mecânica na Universidade do Vale dos Rio dos Sinos, Unisinos. Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS. Tem experiência como Técnica em Química na indústria metalúrgica, no ramo de galvanoplastia. Atualmente é laboratorista de apoio ao ensino da Universidade do Vale do Rio dos Sinos, atuando em vários laboratórios da Universidade. Tem experiência na área de Química, com ênfase em Química Analítica como: análises ambientais, análises em alimentos, análises em produtos farmacêuticos e atualmente na área de caracterização e valorização de materiais.

Maurício Gammertt Rohnelt

Graduado em Engenharia Química pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (2019). Mestrando em Engenharia Civil com atuação em Gerenciamento de Resíduos/Saneamento Ambiental pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (em andamento). Possui formação técnica em Mecânica Industrial pela Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha (2013). Possui formação técnica profissionizante em Assistência para a Indústria da Borracha pelo Instituto SENAI de Inovação em Engenharia de Polímeros (2012). Atuou no setor de Assessoria Técnica e Tecnológica (ATT) do Instituto SENAI de Inovação Engenharia de Polímeros (2013 - 2015). Experiência no desenvolvimento de compostos elastoméricos, compósitos poliméricos, abrangendo ajustes de formulação e análises de caracterização físico-mecânica e química. Atualmente, é integrante do corpo técnico do Instituto Tecnológico em Ensaios e Segurança Funcional (itt Fuse) da

Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos). É analista técnico de Projeto da SEMANT Serviços Industriais e Ambientais LTDA. Possui experiência ampla em serviços laboratoriais e consultoria tecnológica aplicadas na resolução de problemas e desenvolvimento de produtos que cumprem com requisitos de segurança funcional nas indústrias de polímeros, metalmecânica e eletroeletrônica. Conhecimento amplo na preparação de amostras e realização de análises microscópicas (Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV/EDS, microscopia Ótica e Digital, Microscopia Acústica de Varredura, Microscopia de Força Atômica - AFM) como ferramenta de: investigação de falhas em produtos, análise de uniformidade e espessura de revestimentos orgânicos e inorgânicos, e desenvolvimento de produtos mediante caracterização morfológica de micro e nanoestruturas. Aptidão no controle de qualidade laboratorial e desenvolvimento de métodos de ensaio conforme normas NBR ISO IEC 17025:2017 e ISO 14001:2015. Aptidão em apresentação de cursos e capacitação técnica de profissionais. Interesse em especializar-se em pesquisa aplicada à indústria, atuando no desenvolvimento de produtos e otimização de processos com foco em elastômeros e nanocompósitos poliméricos aplicados à adsorção e catálise.

Oswaldo José Correia Filho

Geólogo graduado pela Universidade Federal de Pernambuco - UFPE (2014). Foi bolsista de graduação do programa de iniciação científica PRH-26/ANP, entre 2013 e 2014. Concluiu o mestrado em 2017 pelo Programa de Pós-Graduação em Geociências na área de geologia estrutural e geofísica aplicada. Durante dois anos do período de desenvolvimento do doutorado, foi professor substituto de mineralogia do departamento de Geologia da Universidade Federal de Pernambuco. Também ministrou cursos de curta duração sobre geoprocessamento e geotecnologias para alunos da graduação e pós-graduação do mesmo departamento. A tese de doutorado foi finalizada no início de 2022, na mesma instituição de conclusão da dissertação de mestrado, e foi fundamentada na interpretação sísmica voltada para análise estrutural, com foco nos processos neotectônicos que afetaram a margem nordeste brasileira e domínios de crosta oceânica adjacente. Possui experiência nas áreas de geofísica, geologia estrutural, sedimentologia, estratigrafia e geotecnologias.

Paola Lamberty

Possui curso Técnico em Química pela Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha (2015) e atualmente é graduanda do curso de Engenharia Química da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).

Paulo Pinheiro Castanheira Neto

Professor Departamento de Construção Civil e Transportes, Faculdade de Engenharia, UERJ; Professor Engenharia Civil, UNESA; Engenheiro Civil com vasta experiência em obras pesadas, industriais e infraestrutura.

Simone Perruci Galvão

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Católica de Pernambuco (1999), mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Goiás (2004) e doutorado em ciências de materiais pela Universidade Federal de Pernambuco (2010). Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Materiais e Componentes de Construção, atuando principalmente nos seguintes temas: argamassas de reparo, concreto, resíduos de construção e demolição, polímeros, cimento, adições minerais, técnicas de caracterização microestrutural e RMN (Ressonância Magnética Nuclear).

Tatiana Cureau Cervo

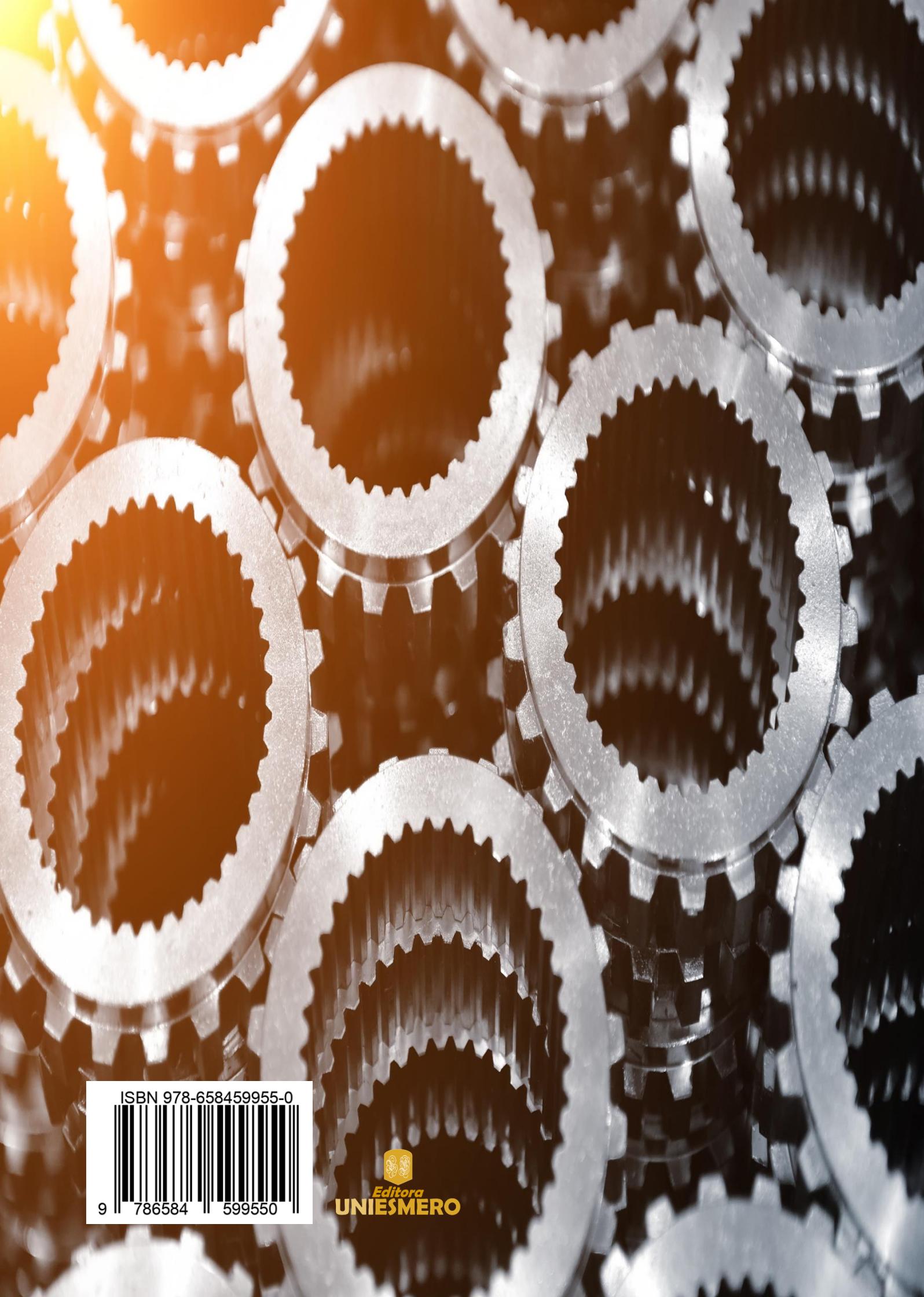
Professora da Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Santa Maria - RS, Brasil.

Túlio Pedrosa de Souza

Graduando do curso de Engenharia Civil pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho (UACSA). Membro do Grupo de Pesquisa em Geotecnia e Tecnologia da Construção - GEOTEC na UFRPE.

Vinícius Conceição de Araujo

Graduado em Engenharia Civil, UNESA, Niterói-RJ.



ISBN 978-658459955-0



9

786584

599550



Editora
UNIESMERO