

Barbara Lúzia Sartor Bonfim Catapan

Organizadora

CONTRIBUIÇÕES PARA O AVANÇO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Vol.01

Curitiba

EDITORA REFLEXÃO ACADÊMICA

2022



Organizadora
Barbara Luzia Sartor Bonfim Catapan



**Contribuições para o avanço da ciência
e tecnologia**

Vol. 01

Reflexão Acadêmica
editora

Curitiba
2022

Copyright © Editora Reflexão Acadêmica
Copyright do Texto © 2022 O Autor
Copyright da Edição © 2022 Editora Reflexão Acadêmica
Editora-Chefe: Profa. Msc. Barbara Luzia Sartor Bonfim Catapan
Diagramação: Lorena Fernandes Simoni
Edição de Arte: Editora Reflexão Acadêmica
Revisão: O Autor

O conteúdo do livro e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva da autora. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos a autora, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial:

Prof^a. Msc. Rebeka Correia de Souza Cunha, Universidade Federal da Paraíba - UFPB

Prof. Msc. Andre Alves Sobreira, Universidade do Estado do Pará - UEPA

Prof^a. Dr^a. Clara Mariana Gonçalves Lima, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP

Prof^a. PhD Jalsi Tacon Arruda, Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA

Prof^a. Dr^a. Adriana Avanzi Marques Pinto, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP

Prof. Dr. Francisco Souto de Sousa Júnior, Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFRSA

Prof. Dr. Renan Gustavo Pacheco Soares, Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Prof. Dr. Sérgio Campos, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Brasil.

Prof. Dr. Francisco José Blasi de Toledo Piza, Instituição Toledo de Ensino, Brasil.

Prof. Dr. Manoel Feitosa Jeffreys, Universidade Paulista e Secretaria de Educação e Desporto do Amazonas, Brasil.

Prof^a. Dr^a. Mariana Wagner de Toledo Piza, Instituição Toledo de Ensino, Brasil.

Prof. Msc. Gleison Resende Sousa, Anhangera Polo Camocim, Brasil.

Prof^a. Msc. Raiane Vieira Chaves, Universidade Federal de Sergipe, Brasil.

Prof^a. Dr^a. Thalita Siqueira Sacramento, Escola da Natureza- Secretaria de Educação do Distrito Federal, Brasil.

Prof. Msc. André Luiz Souza, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Brasil.

Prof^a. Dr^a. Leonice Aparecida de Fatima Alves Pereira Mourad, Universidade Federal de Santa Maria, Brasil.

Prof^a. Dr^a. Lenita de Cássia Moura Stefani, Universidade do Estado de Santa Catarina, Brasil.



Reflexão Acadêmica
editora

Ano 2022

Prof^a. Msc. Vanesa Nalin Vanassi, Universidade do Estado de Santa Catarina, Brasil.
Prof^a. Dr^a. Khétrin Silva Maciel, Universidade Federal do Sul da Bahia, Brasil.
Prof^a. Dr^a. Adriana Crispim de Freitas, Universidade Federal do Maranhão, Brasil.
Prof. Esp. Richard Presley Silva Lima Brasil, Centro De Educação Superior De Inhumas Eireli, Brasil.
Prof^a. Dr^a. Vânia Lúcia da Silva, Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil.
Prof.^a Dr^a. Anna Maria de Oliveira Salimena, Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil.
Prof.^a Dr^a. Maria Clotilde Henriques Tavares, Universidade de Brasília, Brasil.
Prof.^a Dr^a. Márcia Antonia Guedes Molina, Universidade Federal do Maranhão, Brasil.
Prof. Msc. Mateus Veppo dos Santos, Centro Universitário Euro-Americano, Brasil.
Prof.^a Msc. Adriana Xavier Alberico Ruas, Funorte, Brasil.
Prof.^a Msc. Eliana Amaro de Carvalho Caldeira, Centro Universitário Estácio - Juiz de Fora MG, UFJF, Brasil.
Prof. Msc. João Gabriel de Araujo Oliveira, Universidade de Brasília, Brasil.
Prof.^a Dr.^a Anísia Karla de Lima Galvão, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Brasil.
Prof.^a Dr.^a Rita Mônica Borges Studart, Universidade de Fortaleza, Brasil.
Prof.^a Msc. Adriane Karal, UDESC/UCEFF, Brasil.
Prof.^a Msc. Darlyne Fontes Virginio, IFRN, Brasil.
Prof.^a Msc. Luciana Mação Bernal, Universidade Federal de São Carlos, Brasil.
Prof. Dr. Roberto José Leal, Escola de Enfermagem Anna Nery / Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.



Reflexão Acadêmica
editora

Ano 2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C357c Catapan, Barbara Luzia Sartor Bonfim

Contribuições para o avanço da ciência e tecnologia/
Barbara Luzia Sartor Bonfim Catapan.
Curitiba: Editora Reflexão Acadêmica, 2022.
216 p.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui: Bibliografia

ISBN: 978-65-84610-13-2

1. Ciência. 2. Tecnologia.

I. Catapan, Barbara Luzia Sartor Bonfim. II. Título.

Editora Reflexão Acadêmica
Curitiba – Paraná – Brasil
1contato@reflexaoacademica.com.br



Reflexão Acadêmica
editora

Ano 2022

ORGANIZADORA

Sobre a organizadora - Barbara Luzia Sartor Bonfim Catapan - Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas pela PUCPR. Possui graduação em Administração pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná - PUCPR (2014), bacharelado em Pedagogia pela Faculdade das Américas - FAM (2020) e MBA em Gestão Executiva de Negócios pela Universidade Braz Cubas (2016). Atuou, profissionalmente, em duas organizações nas áreas financeira e administrativa. Foi professora convidada no Instituto de Educação e Pós-Graduação em Negócios (IEN), ministrando aulas em cursos de extensão a distância. Foi Professora Pesquisadora no Instituto Federal do Paraná - IFPR no curso Técnico de Logística. Publicou 9 artigos em periódicos e 9 artigos em congressos nacionais e internacionais. Atualmente, atua como Editora-chefe na empresa Reflexão Acadêmica Editora.

APRESENTAÇÃO

O livro “Contribuições para o avanço da ciência e tecnologia vol.1”, publicado pela Reflexão Acadêmica Editora, coletânea que traz um conjunto de quinze capítulos, irá apresentar trabalhos relacionados com os diversos temas da área de ciência e tecnologia como um todo.

É apresentado um trabalho sobre um projeto eletromecânico e computacional do protótipo de uma prótese robótica de baixo custo para pacientes que sofreram amputação transradial do membro superior. O livro também traz um trabalho sobre a adsorção seletiva de corantes em materiais híbridos da classe siloxano-poliéter. O comportamento de adsorção do híbrido, denominado PEO1900, para dois corantes em meio aquoso foi estudado por espectroscopia UV-vis. Neste caso, o azul de metileno AM (catiônico) e o Orange II OII (aniônico) foram usados como corantes modelo. A metodologia sol-gel foi utilizada para a obtenção do híbrido PEO1900. Outro trabalho que poderá ser apreciado é um estudo de resultados de ensaios de arrancamento de tiras sintéticas em areia uniforme, avaliando-se a ocorrência da mobilização dos reforços ao longo do comprimento dos mesmos e quantificando-se os acréscimos de tensões na massa de solo. As geotiras ensaiadas consistiram em tira sintética convencional e tira sintética com ondulações laterais (alta aderência)., entre outros trabalhos.

Dessa forma agradecemos todos os autores pelo esforço e dedicação colocados em seus trabalhos. Esperamos poder contribuir com a comunidade científica que se interessa por temas relacionados com a área da ciência e tecnologia e que o livro auxilie em futuras pesquisas voltadas na temática discutida.

Boa leitura!

Profa. MSc. Barbara Luzia Sartor Bonfim Catapan

SUMÁRIO

CAPÍTULO 01	1
APRENDIZAGEM MEDIADA PELAS TECNOLOGIAS DIGITAIS: UM PROJETO FORMATIVO NO PIBID Vera Cristina de Quadros DOI: doi.org/10.51497/reflex.0000333	
CAPÍTULO 02	11
IDENTIDADES POLINOMIAIS PARA A ÁLGEBRA DE JORDAN DAS MATRIZES TRIANGULARES SUPERIORES 2X2 Mateus Eduardo Salomão DOI: doi.org/10.51497/reflex.0000334	
CAPÍTULO 03	18
AS RESPONSABILIDADES DO CONSELHO FISCAL NA AFIRMAÇÃO DA AUTOGESTÃO COOPERATIVA Luciana Moro de Souza Nelson Jose Thesing Tárcio Ricardo Thomas Tatiane Peno Nogueira Darlan Ariel Prochnow Cleiton Jardel Carneiro DOI: doi.org/10.51497/reflex.0000335	
CAPÍTULO 04	28
DESENVOLVIMENTO DE UMA PRÓTESE DE MÃO ROBÓTICA ANTROPOMÓRFICA SERVO-CONTROLADA Maria Emília Ferreira Gonzalez Ribeiro Laura Bortoncello Raul Eduardo Fernandez Sales José Carlos Barbon Júnior Gustavo André Vaccari Henrique Zardin de Lima Bianca Rossato Alexsander Furtado Carneiro Anselmo Rafael Cukla DOI: doi.org/10.51497/reflex.0000336	
CAPÍTULO 05	42
INTERDISCIPLINARIDADE: UMA MANEIRA LÚDICA DE ABORDAR OS CONTEÚDOS Maria Lucia Teiceira Guerra de Mendonça Renata de S. Rianelli Rosana Petinatti da Cruz Paulo Jorge Magalhães Teixeira Marcelo Beauclair DOI: doi.org/10.51497/reflex.0000337	

CAPÍTULO 0650

DESENVOLVIMENTO DE SOLUÇÃO IoT PARA SENSORIAMENTO HÍDRICO EM TEMPO REAL

Jorge Otta Júnior
Leandro Augusto de Carvalho
Augusto Vaghetti Luchese
Pedro Luiz de Paula

DOI: doi.org/10.51497/reflex.0000338

CAPÍTULO 0769

ANÁLISE DE HARMÔNICAS E SUA INFLUÊNCIA NAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DA ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA DA UEA

Sthefany do Socorro Souza da Silva
Israel Gondres Torné
Fábio de Sousa Cardoso
Angilberto Muniz Ferreira Sobrinho
Rubens de Andrade Fernandes
Heitor Lifstich Nogueira da Silva
André Luiz Printes
Raimundo Cláudio Souza Gomes

DOI: doi.org/10.51497/reflex.0000339

CAPÍTULO 0883

ADSORÇÃO SELETIVA DE CORANTES EM MATERIAIS HÍBRIDOS DA CLASSE SILOXANO-POLIÉTER

Álvaro Henrique de Oliveira Marinho
Ricardo de Oliveira
Lílian Karla de Oliveira
Eduardo Ferreira Molina

DOI: doi.org/10.51497/reflex.0000340

CAPÍTULO 09102

TERMODINÂMICA APLICADA À MOTORES A JATO

Jonas Renato Dias Alves Dinis
Emerson Augusto Raymundo
Daniela Camargo Vernilli
Celio Pacheco de Siqueira
João Mauricio Godoy
Amir Rivaroli Junior
Sérgio Roberto Montoro

DOI: doi.org/10.51497/reflex.0000341

CAPÍTULO 10116

INFLUÊNCIA DE CARACTERÍSTICAS SUPERFICIAIS DE GEOSSINTÉTICOS NOS MECANISMOS DE INTERAÇÃO SOLO-REFORÇO

Rodrigo César Pierozan
Nelson Padrón Sánchez
Gregório Luís Silva Araújo
Ennio Marques Palmeira

DOI: doi.org/10.51497/reflex.0000342

CAPÍTULO 11 135

CONVERSOR CC/CC BIDIRECIONAL PUSH-PULL TRIFÁSICO / FLYBACK PARA APLICAÇÃO EM ACUMULADORES DE ENERGIA E FONTES RENOVÁVEIS

Menaouar Berrehil El Kattel

Robson Mayer

Cristina do Carmo Lucio Berrehil el Kattel

Fernando Ely

DOI: doi.org/10.51497/reflex.0000343

CAPÍTULO 12 163

LEVANTAMENTO DAS EXPRESSÕES NUMÉRICAS DAS VARIÁVEIS OPERACIONAIS DO REATOR NUCLEAR TRIGA DO CDTN PARA DESENVOLVIMENTO DO SIMULADOR DIGITAL DE SUA OPERAÇÃO

Adriano de Almeida Massaud Felipe

Amir Zacarias Mesquita

Aldo Márcio Fonseca Lage

DOI: doi.org/10.51497/reflex.0000344

CAPÍTULO 13 171

LOGÍSTICA DE ESTOQUE: SETOR DE FRIOS EM UMA PADARIA NA CIDADE DE SÃO PAULO

Moisés Cláudio dos Santos

Rawelly Beatriz Pereira de Moraes da Silva

Rosana Maria Teixeira Alves

Roberto Ramos de Moraes

DOI: doi.org/10.51497/reflex.0000345

CAPÍTULO 14 184

UM FUTURO DE POSSIBILIDADES: LOGÍSTICA REVERSA E REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS TÊXTEIS

Juliana Nogueira Silva Barbosa Santos

Vanessa Cristina da Silva

Sidioney Onézio Silveira

DOI: doi.org/10.51497/reflex.0000346

CAPÍTULO 15 199

DETERMINAÇÃO DO TEOR DE POLIFENÓIS TOTAIS EM VINHOS E SUCOS DE UVA INTEGRAL POR ESPECTROFLUORIMETRIA E COMPARAÇÃO COM O MÉTODO DE FOLIN-CIOCALTEU

Stefanie Baldasso e Souza

Raquel Andrade Donagemma

Flávia Ferreira de Carvalho Marques

DOI: doi.org/10.51497/reflex.0000347

CAPÍTULO 01

APRENDIZAGEM MEDIADA PELAS TECNOLOGIAS DIGITAIS: UM PROJETO FORMATIVO NO PIBID

Vera Cristina de Quadros

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Mato Grosso - IFMT
E-mail: vera.quadros@ifmt.edu.br

Resumo: Objetiva-se socializar o projeto formativo vivenciado pelos bolsistas (pibidianos) do subprojeto Matemática do Campus Campo Novo do Parecis do PIBID/IFMT, iniciada em março de 2017 e concluído em fevereiro de 2018. Inicialmente, o grupo realizou estudos e debates acerca da inserção das tecnologias digitais no processo de ensino e de aprendizagem escolar, discutindo seus limites e suas possibilidades, tendo por aporte teórico a Teoria da Atividade e sistema seres-humanos-com-mídias. Na sequência, realizaram oficinas sobre elaboração de jogos digitais e cartoons para o ensino de Matemática e, em pequenos grupos, construíram seus materiais didáticos digitais. Os cartoons e jogos digitais construídos foram apresentados para apreciação, correção e/ou sugestões do grupo, para depois, iniciar a etapa de validação, aplicando-os com os alunos atendidos nas escolas parceiras do subprojeto. Dessa experiência, os pibidianos revelaram que ocorreram aprendizagens quanto ao conteúdo matemático, ao domínio dos softwares, à elaboração do material didático nas mídias digitais escolhidas, às habilidades motoras para produção de desenhos e ao trabalho colaborativo no grupo (diálogo, negociações, comprometimento e tolerância). Mediante suas percepções, parece possível inferir que a interação e mediação com o grupo e com as tecnologias digitais permitiram que eles ampliassem e até mesmo construíssem conhecimentos.

Palavras-chave: Ensino de matemática; Formação inicial de professores; Tecnologias digitais; Sistema seres-humanos-com-mídias.

1. INTRODUÇÃO

As tecnologias digitais têm influenciado as ações e o modo de vida dos seres humanos, transformando as relações econômicas, sociais e culturais. Esse “novo” cenário engloba a Educação Básica que tem testemunhado uma “invasão” das tecnologias digitais no ambiente escolar: *smartphones* com acesso à internet, *tablets*, etc.

Segundo Kenski (2007, p. 21), o “homem move-se através da vida mediada pelas tecnologias que são contemporâneas a seu tempo” e elas têm influenciado o modo de vida do homem, modificando sua forma de ser, agir, pensar, produzir o conhecimento e viver na sociedade.

Com o intuito de propiciar o estudo acerca das modificações provocadas pelas tecnologias digitais e sua inserção no processo de ensino e de aprendizagem escolar, a coordenação do subprojeto Matemática do Campus Campo Novo do Parecis do PIBID/IFMT organizou um projeto formativo a todos os pibidianos, iniciado em março de 2017 e concluído em fevereiro de 2018. Assim, o objetivo, neste texto, é socializar o que foi experienciado.

2. APORTE TEÓRICO

O conceito de tecnologia, de acordo com Kenski (2007, p. 19) “[...] engloba a totalidade de coisas que a engenhosidade do cérebro humano conseguiu criar em todas as épocas, suas formas de uso, suas aplicações”. Nessa ótica, olhando para a história, é possível afirmar que “as tecnologias existentes em cada época, disponíveis para utilização por determinado grupo social, transformaram radicalmente as suas formas de organização social, a comunicação, a cultura e a própria aprendizagem” (KENSKI, 2003, p.48).

Esse conceito implica em conceber que toda aprendizagem foi e é mediada por tecnologias.

Toda aprendizagem, em todos os tempos é mediada pelas tecnologias disponíveis. Assim, nós tivemos tecnologias que identificaram o modo de ser e de agir diferenciado nas sociedades predominantemente caçadoras e coletoras, ou nas comunidades agrícolas e que são bem distintos dos comportamentos predominantes nas sociedades urbanas industriais. Segundo Pierre Lévy (1998), a predominância de determinadas tecnologias – desenvolvidas para garantir ao homem a superação de obstáculos naturais

e a sobrevivência com melhor qualidade de vida, em cada lugar e em cada época - necessariamente encaminha as pessoas para novas aprendizagens. Essas aprendizagens não estão apenas direcionadas para o domínio de determinados conteúdos ou competências específicas. De uma forma ampla e complexa elas determinam os valores, as ações e a visão de mundo de cada pessoa e do grupo social no qual ela vive. (KENSKI, 2003, p.48)

Olhando para a escola, Villarreal (2012) argumenta que ela também foi sendo transformada, especialmente com o advento de novas tecnologias, ao ponto de a produção do conhecimento estar condicionada às tecnologias utilizadas, pois elas transformam as práticas, os conteúdos e as formas de conhecer.

Tikhomirov, um discípulo de Vygotsky, foi quem pensou sobre a questão da informática, propondo “[...] que uma mídia como a informática reorganiza o pensamento” (BORBA, 2001, p. 136).

Conforme Borba (2001, p 137), Tikhomirov postula a interação entre técnica e ser humano, a relação entre informática e pensamento, “a informática é vista como uma mídia qualitativamente diferente da linguagem e que, portanto, reorganiza o pensamento de forma diferenciada”. Sua teoria de reorganização do pensamento traz uma nova perspectiva para a aprendizagem na escola. Assim, o pensamento emana de um sistema formado por ser-humano-computador, ou seja, não há dicotomia entre ser humano e computador. Dito de outra forma, o ser humano aprende e reorganiza o seu pensamento mediado por outros seres humanos, mas também por uma ou mais tecnologias.

Além de Tikhomirov, há as contribuições de Pierre Lévy que, ao trazer a perspectiva histórica, propõe que “os seres humanos são constituídos por técnicas que estendem e modificam seu raciocínio e, ao mesmo tempo, esses mesmos seres humanos estão constantemente transformando essas técnicas” (BORBA, 2001, p. 138-139).

É à luz desse dois teóricos que se coaduna com Borba (2001), quando afirma que o conhecimento só é produzido com uma determinada mídia ou tecnologia e que este conhecimento não é produzido individualmente, mas sim por um coletivo formado por seres-humanos-com-mídias. E essa noção de humanos-com-mídias, de acordo com Villarreal e Borba (2010), engendra duas ideias centrais: o pensamento é uma construção coletiva e o pensamento inclui ferramentas, artefatos, mídias com as quais se produz o conhecimento.

Esse constructo teórico de seres-humanos-com-mídias, ao adentrar o espaço da escola e da sala de aula, implica em mudanças nas relações construídas nestes espaços e no fazer docente. Neste sentido, Porto (2006) destaca:

O trabalho escolar com as tecnologias de comunicação e informação supõe mudar a ordem do processo educativo, no qual, tradicionalmente, o professor decide arbitrariamente o que ensinar. Segundo essa postura, a decisão não é só sua; depende de articulações entre professor e alunos, e destes com as tecnologias. (PORTO, 2006, p. 53)

No ensino de matemática, em menos de dois séculos, ocorreram profundas mudanças com a chegada do quadro, do caderno, do livro didático, da calculadora, do computador à sala de aula – processo histórico detalhado por Villarreal e Borba (2010). Estes autores demonstraram como diferentes tecnologias tiveram historicamente associadas à produção de conhecimento matemático e como estas tecnologias foram introduzidas nas escolas, influenciando a educação.

À luz da história, percebe-se que a cada nova mídia, a reação dos professores, embora de épocas diversas, era similar: estranhamento, receio, rejeição. Percebe-se também que, com o passar do tempo, algumas mídias foram incorporadas, ao ponto de hoje serem consideradas rotineiras, naturais ao espaço escolar, ou seja, ficaram transparentes (Villarreal e Borba, 2010).

Na atualidade, são as tecnologias digitais que vem provocando estranhamentos e rejeições. Kenski (2003) propõe a aceitação destas tecnologias, ao afirmar que elas oferecem novos desafios, novas possibilidades de acesso à informação, interação e de comunicação e que dão origem a novas formas de aprendizagem. Em outras palavras, as tecnologias digitais possibilitam interações entre atores humanos e atores não humanos, em que um influencia/condiciona ao outro e vice-versa. É um processo onde todos são protagonistas, pois ao mesmo tempo em que as tecnologias digitais (ou mídias) condicionam, podem transformar a produção matemática dos sujeitos ao provocar mudanças qualitativas no pensamento, pois as respostas das mídias podem organizar ou reorganizar o pensamento humano (BORBA, 1999).

Todavia, para que as atuais tecnologias digitais venham para as salas de aula, além da superação do estranhamento, depende da abordagem pedagógica do professor e de sua concepção de conhecimento. Espera-se que o professor que reconhece as novas possibilidades de acesso à informação, interação e de comunicação e as decorrentes novas formas de aprendizagem, demonstre coerência entre suas concepções e a abordagem pedagógica que adota.

Nesse sentido, Villarreal (2012, p.84) apresenta a “[...] abordagem experimental-com tecnologias, modelagem como estratégia pedagógica e o trabalho com projetos” como abordagens pedagógicas que apresentam sintonia com a concepção que o conhecimento é uma construção coletiva de seres-humanos-com-mídias e o reconhecimento do papel das tecnologias na construção dos conhecimentos (BORBA, 1999).

Dentre essas abordagens, no subprojeto Matemática do Campus Campo Novo do Parecis do PIBID/IFMT adotamos o trabalho com projetos, buscando o diálogo entre diferentes conhecimentos (matemáticos, pedagógicos, tecnológicos), na concepção da construção coletiva do conhecimento e do reconhecimento do papel das tecnologias na construção desses conhecimentos.

3. METODOLOGIA

Adotamos a metodologia participativa, num processo de conhecer e agir, com ênfase nas atividades em grupos, para propiciar a interação e a mediação. Foram sujeitos todos os pibidianos (vinte bolsistas) e os dois professores supervisores.

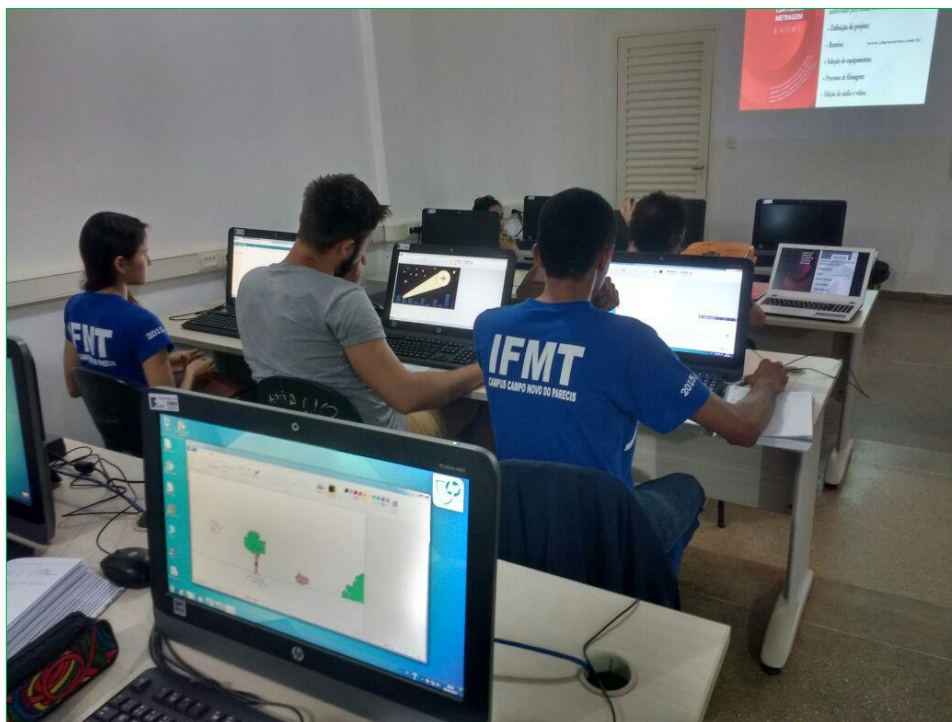
O projeto teve seis etapas:

- reuniões de estudos teóricos;
- duas oficinas, sobre produção de *cartoons* e jogos digitais;
- projetos de criação de *cartoons* ou jogos digitais (cada grupo podia escolher, definindo qual conteúdo matemático selecionado e para qual série seria adequado);
- construção dos *cartoons* /jogos digitais, em grupos;
- apresentações das criações, com avaliação dos pares;
- validação dos materiais, aplicando-os com seus públicos-alvo (os alunos atendidos das escolas parceiras no PIBID).

As apresentações tiveram dupla finalidade: dar a conhecer a produção do grupo mas também permitir a avaliação dos pares e dos professores supervisores e coordenação, quanto à correção textual, correção do conteúdo matemático, a adequação da linguagem ao aluno alvo, imagens atrativas e coerentes, qualidade das imagens e sons, se o vídeo ou o jogo teriam potencial para atingir os objetivos para quais foram criados. Por isso, somente depois que as apresentações ocorreram e que

os ajustes foram concluídos e revistos pelos professores supervisores é que teve início a última etapa, de trabalhar com os *cartoons* ou de jogar em sala de aula, com alunos reais, dos anos finais do Ensino Fundamental e do Ensino Médio.

Figura 1: Oficina de *cartoons*



Fonte: Acervo da autora, 2017

Figura 2: Oficina de jogos digitais



Fonte: Os autores

Figura 3: Apresentações



Fonte: Acervo da autora, 2017

Figura 4: Validação nas escolas parceiras



Fonte: Acervo da autora, 2017

Assim, de setembro a dezembro de 2017, foi o período de validação dos materiais, aplicando-os com seus públicos-alvo (os alunos atendidos das escolas parceiras no PIBID). Mediante o *feedback* dos alunos e suas observações, ainda procederam ajustes e melhorias em suas criações. Desse modo, somente no final de fevereiro é que os pibidianos concluíram a versão final dos jogos digitais e *cartoons*, disponibilizando-os para a comunidade no Laboratório de Ensino de Matemática do IFMT/CNP.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os vinte pibidianos organizaram-se em seis grupos: três elaboraram *cartoons* e os outros três, jogos digitais. Os conteúdos selecionados foram diversificados, indo do Ensino Fundamental ao Médio: potenciação foi direcionado aos alunos de 6º ano; frações, aos alunos de sétimo ano; geometria, para alunos do 9º ano; funções para alunos do 1º ano do Ensino Médio; estatística e infinito, para alunos concluintes do Ensino Médio.

Mediante a avaliação final, realizada coletivamente, os pibidianos apontaram algumas dificuldades sobre a experiência de elaborar o projeto de trabalho e construir o jogo digital ou *cartoon*, como: a difícil organização do tempo de todos para que os grupos se encontrassem (para elaboração do material didático) em virtude de trabalharem de dia e estudarem todas as noites; o difícil acesso à internet no campus; o total desconhecimento de alguns softwares até participarem das oficinas.

Por outro lado, sentiram-se desafiados, tendo que estudar muito mais o conteúdo matemático e, por vezes, precisando pesquisar na internet sobre como explorar os recursos dos *softwares* utilizados.

Quando indagados sobre suas apreciações, todos afirmaram que o projeto foi muito bom, tirou-os da zona de conforto, provocou pensar noutra perspectiva o ensino da Matemática, mediado pelas tecnologias digitais. Apreciações essas justificadas pelo maior aprendizado que tiveram quanto ao próprio conteúdo matemático, quanto ao domínio dos *softwares*, a autodescoberta de habilidades motoras finas e ao trabalhar em grupo - exercício e aprendizagem do diálogo, de negociações, de respeito ao outro e sua opinião, de comprometimento para que o *cartoon*/jogo digital saísse do papel e se tornasse realidade.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mediante as percepções dos pibidianos, socializadas no decurso da realização do projeto, parece possível inferir que a interação e mediação com o grupo e com as tecnologias digitais possibilitaram a ampliação e/ou a construção de conhecimentos, viabilizando a elaboração dos materiais didáticos digitais.

Além da elaboração e socialização de materiais didáticos digitais, o projeto parece ter propiciado aos pibidianos o reconhecimento do papel das tecnologias

digitais na construção de seus conhecimentos, dando concretude à concepção epistemológica de que o conhecimento é uma construção coletiva formada por seres-humanos-com-tecnologias digitais.

REFERÊNCIAS

BORBA, M. C. Tecnologias Informáticas na Educação Matemática e Reorganização do Pensamento. In: Bicudo, M. A. V. **Pesquisa em Educação Matemática: Concepções e Perspectivas**. São Paulo: Editora UNESP, 1999.

BORBA, M. Coletivos seres-humanos-com-mídias e a produção matemática. In: **Anais - I Simpósio Brasileiro de Psicologia da Educação Matemática**. Curitiba, 2001.

KENSKI, V. M. Aprendizagem mediada pela tecnologia. **Revista Diálogo Educacional**. Curitiba, v. 4, n.10, p.47-56, set./dez de 2003.

KENSKI, V. M. **Educação e Tecnologias: o novo ritmo da informação**. Campinas: Papirus Editora, 2007.

PORTO, T. M. C. As tecnologias de comunicação e informação na escola; relações possíveis... relações construídas. **Revista Brasileira de Educação**. V. 11, n.31, 2006.

VILLARREAL, M. Tecnologías y educación matemática: necesidad de nuevos abordajes para la enseñanza. **Revista innovación y experiencias**. Año 3, n. 5, 2012.

VILLARREAL, M.; BORBA, M.C.; Collectives of humans-with-media in mathematics education: notebooks, blackboards, calculators, computers and ... notebooks throughout 100 years of ICMI. **ZDM Mathematics Educations**, V. 42: p.49-62, Berlin, 2010.

CAPÍTULO 02

IDENTIDADES POLINOMIAIS PARA A ÁLGEBRA DE JORDAN DAS MATRIZES TRIANGULARES SUPERIORES 2X2

Mateus Eduardo Salomão

Universidade Federal de São Carlos – UFSCar

E-mail: mateussalomao@utfpr.edu.br

Resumo: Seja K um corpo (finito ou infinito) de char $(K) \neq 2$ e seja $UT_2(K)$ a álgebra das matrizes triangulares 2×2 sobre K . Se \cdot é o produto usual de $UT_2(K)$ então com o novo produto $a \circ b = (1/2)(a \cdot b + b \cdot a)$ temos que $UT_2(K)$ é uma álgebra de Jordan, denotada por $UJ_2 = UJ_2(K)$. Neste artigo, descrevemos o conjunto de todas as identidades polinomiais de UJ_2 e uma base linear para a correspondente álgebra relativamente livre.

Palavras-chave: Álgebra das matrizes triangulares superiores; Álgebra de Jordan
Identidades polinomiais.

Abstract: Let K be a field (finite or infinite) of char $(K) \neq 2$ and let $UT_2(K)$ be the 2×2 upper triangular matrix algebra over K . If \cdot is the usual product on $UT_2(K)$ then with the new product $a \circ b = (1/2)(a \cdot b + b \cdot a)$ we have that $UT_2(K)$ is a Jordan algebra, denoted by $UJ_2 = UJ_2(K)$. In this paper, we describe the set I of all polynomial identities of UJ_2 and a linear basis for the corresponding relatively free algebra.

Keywords: Upper triangular matrix algebra; Jordan algebra, Polynomial identities; Graded algebra.

1. INTRODUÇÃO

As leis de comutatividade, associatividade e distributividade dos números reais que aprendemos no ensino básico, são exemplos de identidades em uma estrutura algébrica. Porém, este conceito é ainda mais geral, em síntese uma identidade é uma expressão simbólica envolvendo operações e variáveis, que é identicamente satisfeita quando as variáveis são substituídas por elementos de uma estrutura algébrica.

Neste contexto, surge a teoria que estuda álgebras que satisfazem identidades polinomiais, chamada de PI-Teoria. O estudo de PI-Teoria é algo de grande relevância, pois as identidades polinomiais dão informações significativas a respeito da álgebra em questão.

Neste trabalho, descreveremos uma base para as identidades polinomiais para a álgebra de Jordan das matrizes triangulares superiores 2×2 com entradas em um corpo (finito ou infinito) de característica diferente de 2. Tais identidades foram descritas em [4].

Para um estudo mais detalhado a respeito de identidades polinomiais, indicamos as referências [1], [2] e [3].

Ao longo de todo o texto, K denotará um corpo de $\text{char}(K) \neq 2$, onde $\text{char}(K)$ denota a característica de K . Além disso, todas as álgebras consideradas serão sobre K . Mais ainda, denotaremos a cardinalidade de K por $[K]$.

2. ÁLGBRAS DE JORDAN

Nesta seção, vamos definir alguns conceitos e propriedades referentes a estrutura de uma álgebra de Jordan, que é uma classe muito importante de álgebras.

Iniciamos com a definição de associador.

2.1 DEFINIÇÃO

Definição 2.1. Seja A uma álgebra. Se $a, b, c \in A$, dizemos que:

$$(a, b, c) = (ab)c - a(bc)$$

é o *associador* de a, b e c , nesta ordem.

Se n é ímpar e a_1, \dots, a_n e A , denotaremos

$$(a_1, a_2, a_3, a_4, \dots, a_n) = ((a_1, a_2, a_3), a_4, \dots, a_n).$$

Na sequência, definimos a estrutura de álgebra de Jordan.

2.2 DEFINIÇÃO

Definição 2.2. Uma álgebra comutativa A é chamada de álgebra de Jordan se

$$(a^2, b, a) = 0$$

para todos a, b e A .

Podemos criar uma álgebra de Jordan a partir de uma álgebra associativa como segue: se A é uma álgebra *associativa*, equipada com o produto \cdot , então o espaço vetorial A equipado com um novo produto \circ é chamado *produto de Jordan*, definido por:

$$a \circ b = (1/2)(a \cdot b + b \cdot a)$$

onde a, b e A , é uma álgebra de Jordan, denotada por A^+ .

Para finalizar a seção, definiremos identidade polinomial para álgebras de Jordan. Os polinômios em questão, são elementos de álgebra de Jordan unitária livre, livremente gerada por um conjunto de variáveis X , que é denotada por $J(X)$.

2.3 DEFINIÇÃO

Definição 2.3. Sejam A uma álgebra de Jordan unitária e $f = f(x_1, \dots, x_n)$ e $J(X)$. Dizemos que f é uma identidade polinomial pra A se

$$f(a_1, \dots, a_n) = 0,$$

para todos a_1, \dots, a_n e A . Denotamos por $T(A)$ o conjunto das identidades polinomiais de A . Se $T(A) \neq \{0\}$ dizemos que A é uma *PI-álgebra*.

3. A ÁLGEBRA DE JORDAN NAS MATRIZES TRIANGULARES SUPERIORES E SUAS IDENTIDADES POLINOMIAIS

Nesta seção, definiremos e apresentaremos algumas propriedades da álgebra de Jordan $UJ_2(K)$. Esta álgebra será nosso objeto de estudo ao longo deste trabalho.

Denote a álgebra associativa unitária das matrizes triangulares superiores $n \times n$ com entradas em K , munido com a operação usual de produto por $UT_n(K)$.

3.1 DEFINIÇÃO

Definição 3.1. A álgebra de Jordan $UJ_n(K)$ é o espaço vetorial $UT_n(K)$ munido com o produto de Jordan \circ .

Neste texto, estamos interessados em estudar a álgebra definida acima para o caso em que $n=2$.

Seja $T(UJ_2)$ o T-ideal de $UJ_2 = UJ_2(K)$.

Nas duas próximas subseções, descreveremos $T(UJ_2(K))$. As demonstrações de tais fatos são longas e podem ser encontradas em [4]. Antes, precisamos fixar duas notações.

Se $f_1, f_2, \dots, f_n \in J(X)$, então denotaremos

$$f_1 f_2 \dots f_n = f_1 (f_2 \dots f_n)$$

Mais ainda, se $f, g \in J(X)$, $x \in X$ e $d \geq 1$, então denotaremos

$$(f, g, x^{(d)}) = (f, g, \underbrace{x, x, \dots, x}_{d \text{ fatores}}).$$

3.2 IDENTIDADES DE $UJ_2(K)$, QUANDO K É INFINITO.

Nesta subseção, descreveremos $T(UJ_2(K))$ quando K é infinito de char K

≠ 2. Por simplicidade, usaremos a seguinte notação:

Notação 3.2. Seja I o T-ideal de $J(X)$ gerado pelos polinômios

$$\begin{aligned} T(x_1, x_2, x_3, x_4) &= (x_1 x_2, x_3, x_4) - x_1(x_2, x_3, x_4) - x_2(x_1, x_3, x_4), \\ &(x_1, (x_2, x_3, x_4), x_5), \\ &(x_1, x_2, x_3)(x_4, x_5, x_6). \end{aligned}$$

Lemma 3.3. Se I é o T-ideal definido acima, então $I \subseteq T(UJ_2)$

Lemma 3.4. Seja S o subconjunto de $J(X)$ formado por todos os polinômios

$$\begin{aligned} (a) & x_1^{m_1} x_2^{m_2} \dots x_n^{m_n}, \\ (b) & (x_1^{m_1} x_2^{m_2} \dots x_n^{m_n})(x_t, x_u, x_l, x_u^{(s_u)}, x_{u+1}^{(s_{u+1})}, \dots, x_n^{(s_n)}), \end{aligned}$$

onde $m_1, \dots, m_n \geq 0$; $t \leq u$ e $t < l$; $s_u, \dots, s_n \geq 0$; $s_u + s_{u+1} + \dots + s_n$ é par; $n \geq 0$. Então o espaço vetorial quociente $J(X)/I$ é gerado pelo conjunto de todos os elementos $h+I$, onde $h \in S$.

Teorema 3.5. Seja K um corpo infinito de características diferente de 2. Se $T(UJ_2(K))$ é o T-ideal das identidades polinomiais da álgebra de Jordan $UJ_2(K)$, então $T(UJ_2(K))$ é gerado, como um T-ideal, pelos polinômios

$$T(x_1, x_2, x_3, x_4), (x_1, (x_2, x_3, x_4), x_5) \text{ e } (x_1, x_2, x_3)(x_4, x_5, x_6).$$

3.3 IDENTIDADES DE $UJ_2(K)$, QUANDO K É FINITO.

Nesta subseção, descreveremos o T-ideal das identidades polinomiais de $UJ_2(K)$, para o caso em que K é um corpo finito de $\text{char}(K) \neq 2$.

Nesta seção, K será um corpo finito com $[k] = q$ elementos, e $\text{char}(K) \neq 2$.

Usaremos a seguinte notação:

Notação 3.6. Seja I' o T-ideal de $J(X)$ gerado pelos 3 polinômios (1), (2), (3) e pelos 5 polinômios

$$\begin{aligned}
 & (x_1^q - x_1)(x_2, x_3, x_4), \\
 & (x_1, x_2^q - x_2, x_3), \\
 & (x_1^q - x_1)(x_2^q - x_2), \\
 & (x_1, x_2, x_3, x_2^{(q-1)}) - (-1)^{\frac{q-1}{2}}(x_1, x_2, x_3), \\
 & (x_1, x_1, x_2, x_1^{(q-2)}, x_2^{(q-1)}, x_3) - (-1)^{\frac{q-1}{2}}(x_1, x_3, x_2^{(q)}) + (x_1, x_3, x_2) + \\
 & - (-1)^{\frac{q-1}{2}}(x_1, x_1, x_2, x_1^{(q-2)}, x_3).
 \end{aligned}$$

Note que I' é gerado, como um T-ideal, por 8 polinômios, e $I \subseteq I'$.

Lemma 3.7. Se I' é o T-ideal definido acima, então $I' \subseteq T(UJ_2)$

Lemma 3.8. O espaço vetorial quociente $J(X)|I'$ é gerado pelo conjunto de todos os polinômios $g + I'$ tais que:

$$\begin{aligned}
 \text{(a)} \quad & g = x_1^{m_1} x_2^{m_2} \dots x_n^{m_n} \text{ ou} \\
 \text{(b)} \quad & g = (x_1^{p_1} x_2^{p_2} \dots x_n^{p_n})(x_t, x_u, x_l, x_u^{(s_u)}, x_{u+1}^{(s_{u+1})}, \dots, x_n^{(s_n)})
 \end{aligned}$$

onde $(m_1, \dots, m_n) \in \Lambda_n$; $0 \leq p_1, \dots, p_n < q$; $t \leq u$ e $t < l$; $0 \leq s_u < q-1$, $0 \leq s_{u+1}, \dots, s_n < q$ e $s_u + s_{u+1} + \dots + s_n$ é par; e $n \geq 0$. Mais ainda, se $u = t$ e $s_u = q-2$, então $0 \leq s_l < q-1$.

Teorema 3.9. Seja K um corpo finito com $[K] = q$ elementos, e característica diferente de 2. Se $T(UJ_2(K))$ é o T-ideal das identidades polinomiais da álgebra de Jordan $UJ_2(K)$, então $T(UJ_2(K)) = I'$. Mais ainda, o conjunto do Lema 3.8 é uma base para o espaço vetorial quociente $J(X)|I'$.

REFERÊNCIAS

- [1] ALJADEFF, E.; GIAMBRUNO A.; PROCESI, C.; REGEV, A. Rings with polynomial identities and finite dimensional representations of algebras. Providence: American Mathematical Society, 2020.
- [2] DRENSKY, V. Free algebras and PI-algebras: Graduate course in algebra. Singapore: Springer-Verlag Singapore, 2000.
- [3] GIAMBRUNO, A; ZAICEV, M. Polynomial Identities and Asymptotic Methods. Providence: American Mathematical Society, 2005.
- [4] GONÇALVES, D. J.; KOSHLUKOV, P.; SALOMÃO, M. E. Polynomial identities for the Jordan algebra of 2×2 upper triangular matrices. Journal of Algebra, v. 593, p. 477-506, 2022.
- [5] KOSHLUKOV, P.; MARTINO, F. Polynomial identities for the Jordan algebra of upper triangular matrices of order 2. Journal of Pure and Applied Algebra, v. 216, n. 11, p. 2524-2532, 2012.

CAPÍTULO 03

AS RESPONSABILIDADES DO CONSELHO FISCAL NA AFIRMAÇÃO DA AUTOGESTÃO COOPERATIVA

Luciana Moro de Souza

Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUÍ
E-mail: luciana.moro@unijui.edu.br

Nelson José Thesing

Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUÍ
E-mail: nelson.thesing@unijui.edu.br

Tárcio Ricardo Thomas

Universidade Federal da Fronteira do Sul - UFFS
E-mail: thomastarcio@gmail.com

Tatiane Peno Nogueira

Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUÍ
E-mail: tatipeno@gmail.com

Darlan Ariel Prochnow

Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUÍ
E-mail: darlan.prochnow@sou.unijui.edu.br

Cleiton Jardel Carneiro

Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUÍ
E-mail: cleiton.carneiro@sou.unijui.edu.br

Resumo: O artigo tem, como objetivo central, verificar o trabalho do Conselho Fiscal, no processo de autogestão, em uma cooperativa de crédito, na região Noroeste Colonial, no Rio Grande do Sul, na condição de órgão fiscalizador, por determinação legal, seja, pela Lei 5.764/71, do Regimento Interno e do Estatuto. Significa, verificar as atribuições de fiscalização, dos atos administrativos e contábeis, para identificar de como se dão, na prática os princípios da transparência, a prestação de contas, para qualificar o desempenho da cooperativa. Para responder ao objetivo proposto, o estudo trabalha com a pesquisa descritiva, interpretativa, de caráter qualitativo. Ainda, a pesquisa contempla um conjunto teórico, com base nas ciências sócias. Os achados da pesquisa foram enriquecidos com entrevistas semiestruturadas, com o Conselho Fiscal. A discussão dos resultados conta com um cruzamento das informações, entre os resultados das entrevistas e as referências teóricas. As conclusões indicam que o ambiente de fiscalização, se desenvolve nos princípios democráticos, com transparência e independência na sociedade cooperativa, de forma assídua e minuciosamente responde a legislação, para assim contribuir na autogestão do empreendimento cooperativo.

Palavras-chave: Cooperativa; Transferência; Autogestão.

Abstract: The main objective of the article is to verify the work of the Fiscal

Council, in the self-management process, in a credit cooperative, in the Northwest Colonial region, in Rio Grande do Sul, as a supervisory body, by legal determination, that is, by Law 5,764 / 71, the Internal Regulation and the Statute. It means, verifying the supervisory attributions, of the administrative and accounting acts, to identify how the principles of transparency, the rendering of accounts, take place, in order to qualify the cooperative's performance. To answer the proposed objective, the study works with descriptive, interpretive, qualitative research. Still, the research contemplates a theoretical set, based on the social sciences. The research findings were enriched with semi-structured interviews, with the Fiscal Council. The discussion of the results includes a crossing of the information, between the results of the interviews and the theoretical references. The conclusions indicate that the inspection environment develops in democratic principles, with transparency and independence in the cooperative society, assiduously and thoroughly responds to the legislation, thus contributing to the self-management of the cooperative enterprise.

Keywords: Cooperative; Transparency; Self-management.

1. INTRODUÇÃO

O presente estudo busca verificar a atuação do Conselho Fiscal, de como contribui no processo da autogestão, em uma cooperativa de crédito, na região Noroeste Colonial, no Rio Grande do Sul. Significa, ao verificar um conjunto de procedimentos, de fiscalização, um processo de autogestão, que atende a Lei 5.764/71, em seu artigo 56º que determina as atribuições da fiscalização na sociedade cooperativa que deverá ser assídua e minuciosamente, o que também atende o Regimento Interno e o Estatuto da cooperativa.

Assim, para Oliveira (2006) a administração em uma cooperativa é bem diferente, do que a administração uma empresa mercantil. Desafia a manutenção da identidade cooperativa, por ser uma organização de pessoas. A cooperativa apresenta duas dimensões, associativista e empresarial, o que gera um ambiente complexo para os administradores e fiscalizadores. O desafio é encontrar o equilíbrio entre as duas dimensões, pois a cooperativa, além de ser uma associação de pessoas, também é ao mesmo tempo uma organização econômica.

Portanto, a cooperativa é uma empresa, gerida pela sua direção administrativa, fiscalizada de forma democrática, dentro dos princípios da autogestão. Para Souza (2000, p. 7) “uma empresa autogestionária é mais que uma empresa, pois se assemelha a uma família, marcada por laços afetivos e também é uma organização social de orientação ideológica”.

Para Cançado (2004, p. 58) na autogestão [...] não há separação entre concepção e execução e os meios de produção são coletivos, sendo caracterizado como um processo de educação em constante construção na organização”. Uma construção estratégica da organização, a administração das relações de poder entre as partes interessadas, entre os cooperados, funcionários, planejando/executando/avaliando o trabalho do empreendimento cooperativado.

Oliveira, Bressan e Bressan (2014), destacam que as cooperativas de crédito necessitam desenvolver/implantar mecanismos de gestão em função da complexidade administrativa das mesmas. Para Carvalho et al. (2015) as cooperativas de crédito são administradas por seus próprios membros, pelos sócios, o que indica a necessidade de olhar para a profissionalização de seus dirigentes, na busca do processo da autogestão.

A autogestão passa a ser um modelo administrativo, pautado na participação democrática e no movimento empreendedor, ao unir pessoas, compartilhar resultados, uma prática cooperativista que promove ações alicerçadas em valores éticos de honestidade, transparência, democracia e responsabilidade social.

Ao ter presente os valores éticos, em um processo democrático, constata-se que a presente pesquisa se move em um ambiente que possui característica associativas, que as diferencia de empresas mercantis. A Lei 5.764/71 em artigo 4º aponta que as cooperativas “são sociedades de pessoas, com forma e natureza próprias, de natureza civil, não sujeitas à falência, constituídas para prestar serviços aos associados”. Significa que a cooperativa é uma sociedade de pessoas, não só de capital, que se baseia na quantidade de cotas/ações dos acionistas, na remuneração do capital, no lucro. A cooperativa apresenta sua centralidade nas pessoas, no trabalho solidário, nas orientações dos princípios cooperativista, na distribuição das sobras, de acordo com a participação de cada associado.

Assim, para Andrade e Rossetti (2012), na sociedade cooperativa é de responsabilidade do Conselho Fiscal realizar exames verificações, fiscalizações, avaliações das contas e dos atos da administração. O que desafia o papel do Conselho, para contribuir na autogestão da cooperativa.

Já Figueiredo (2009), compete ao Conselho Fiscal verificar, analisar o balancete, caixa, extratos bancários, relatórios da cooperativa. Ainda, fiscalizar o Plano de Trabalho, analisar os investimentos. Entende-se que o Sistema de Crédito Cooperativo se apresenta como empresa, uma unidade econômica, criada pela associação, contendo como princípio basilar a autogestão do empreendimento.

Para Pivoto (2015) a cooperativa é uma associação de pessoas com interesses semelhantes. A empresa atender as necessidades dos associados, o que desafia as práticas dos Conselheiros Ficais, não no processo de fiscalização, mas também gerar transparência, minimizando os conflitos na cooperativa.

Portanto, o objetivo do artigo centraliza-se nas práticas do Conselho Fiscal, como órgão fiscalizador, na busca da transparência, para contribuir no processo da autogestão da cooperativa, ao trilhar o caminho pelas fundamentações teórica, na pesquisa semiestrutura, realizada com os Conselheiros Ficais, em uma cooperativa de crédito, para estabelecer um diálogo, entre vários autores que trabalham a temática em estudo, servindo como orientação, como embasamento para a entender as práticas, presentes nas atividades do Conselho Fiscal, em uma cooperativa de crédito.

2. METODOLOGIA

Os caminhos metodológicos são indispensáveis na produção científica, estabelecem as orientações para a construção da ciência, que neste estudo, contam com a pesquisa descritiva, interpretativa, de abordagem qualitativa, para coletar os dados, as práticas dos Conselheiros Fiscais. Em relação aos meios, é um estudo de caso, que conta com entrevistas semiestruturadas, em contexto da vida real na cooperativa (YIN, 2001).

Tem-se presente que a cooperativa de crédito, ocupa um espaço estratégico, de destaque no ambiente financeiro das Cooperativas de Crédito na atualidade, da agências financeiras, o que exige um “[...] conjunto de métodos ou caminhos que são percorridos na busca do conhecimento”, para Andrade (2006, p. 129). Entre esses caminhos, está o estudo de caso para Vergara (2013), que consiste em uma pesquisa aplicada, de caráter qualitativo, que permite trabalhar as práticas do Conselho Fiscal.

As sociedades cooperativas estão inseridas em um mercado cada dia mais competitivo, em que ganham destaque os agentes que se posicionam de maneira diferenciada. O Conselho Fiscal tende a garantir o exercício do direito dos proprietários de fiscalizar a gestão dos negócios, bem como os resultados apresentados pela administração e as variações patrimoniais da companhia, no entender de Andrade e Rosseti (2012).

Assim, a busca das práticas dos Conselheiros Fiscais, contou com um conjunto de questionamentos, aplicados aos mesmos, para auxiliar na compreensão das responsabilidades do Conselho Fiscal em um ambiente na busca da sustentabilidade da cooperativa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo contempla uma organização cooperativa de crédito, que integra o sistema de crédito cooperativo do Brasil. Para Silva e Ratzmann (2013), estão organizadas no país as Instituição Financeira Cooperativa (Unicred), Confederação das Cooperativas Centrais de Crédito Rural com Interação Solidária (Confesol) e Cooperativa Central de Crédito Urbano (Cccred).

A organização das cooperativas de crédito, apontam em artigo 26, Capítulo VII da Resolução 4.434 de 05 de agosto de 2015 do Banco Central Brasil, conforme segue:

Art. 26. As cooperativas de crédito devem observar política de governança corporativa aprovada pela assembleia geral, que aborde os aspectos de representatividade e participação, direção estratégica, gestão executiva e fiscalização e controle, e que contemple a aplicação dos princípios de segregação de funções na administração, remuneração dos membros dos órgãos estatutários, transparência, equidade, ética, educação cooperativista, responsabilidade corporativa e prestação de contas.

Portanto, a administração das sociedades cooperativas deverá ser fiscalizada assídua e minuciosamente por um Conselho Fiscal, o qual, possui entre suas funções principais, se reportar aos demais cooperados sobre as conclusões que obteve durante o exercício social, recomendando ou não a aprovação das contas do exercício.

As contas do exercício, representam a situação financeira e econômica das cooperativas, através dos demonstrativos contábeis, visando contribuir para o melhor desempenho da cooperativa, especialmente no que diz respeito à transparência e ao controle dos atos internos da cooperativa, segundo o Sescop (2015).

Assim, no processo de autogestão, na cooperativa de crédito foi possível identificar os interesses dos associados, quando da apresentação dos resultados da cooperativa, pelo Conselho Fiscal. Foi possível perceber melhorias dos processos decisórios, na prestação de conta, um olhar para os indicadores de desempenho.

Ainda, a pesquisa apontou no processo de análise, a descentralização nos níveis gerenciais, com a normatização, regramento interno mediante manuais elaborados para o treinamento/desenvolvimento dos funcionários na padronização das atividades na cooperativa.

Os avanços conquistados na cooperativa, no processo de autogestão, estão estreitamente vinculados aos resultados conquistados pela qualificação dos Conselheiros Fiscais da cooperativa. Dois conselheiros com formação em nível superior, Engenharia Civil e Farmácia e um Técnico em Contabilidade, com experiências de gestão. Os mesmos receberam capacitações para a função, cursos de aperfeiçoamento para o sistema cooperativo de crédito.

O processo democrático, que a pesquisa identificou aponta a eleição e renovação dos membros do Conselho Fiscal, conforme a Lei 5.764 que prevê que o Conselho Fiscal deve ser constituído de 3 (três) membros efetivos e 3 (três) suplentes,

sendo permitida apenas a reeleição de 1/3 (um terço) dos seus componentes. Esse processo contribui na autogestão, que conta com apoio de auditorias, tanto internas como independentes, cujos resultados são apresentados em três níveis: Conselho Fiscal, Conselho de Administração e Diretoria.

Para Schmidheiny (1992) e Drucker (2000), as organizações cooperativistas, estão cientes da necessidade de manter uma postura responsável no empreendimento cooperativo, ao buscarem a autogestão. Significa, que o papel do Conselho Fiscal, de acordo com suas atribuições que possui, tem muita responsabilidade no processo de fiscalização e na perenidade da cooperativa.

Diante deste contexto, estima-se que, se o Conselho Fiscal, ao executar sua função adequadamente, emitindo um Parecer das Demonstrações Contábeis, condizentes com a real situação financeira e econômica da cooperativa, contribuiu significativamente com a manutenção da cooperativa sustentável. A contribuição do Conselho Fiscal, neste sentido torna-se essencial para a autogestão da cooperativa.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cooperativa de crédito, em suas práticas, apresenta uma filosofia de vida, um modelo que une as pessoas, em um processo de autogestão. Trata-se de um modelo de gestão, orientado pelos valores e princípios cooperativistas, que estabelecem práticas éticas, com transparência administrativa, tendo presente a perenidade do modelo cooperativista, que indica em sua essência a participação do cooperado no processo decisório.

Assim, a autogestão passa a ser um processo pelo qual os associados, de forma democrática, seguindo as orientações dos regimentos oficiais, seja, internos da cooperativa, ou de órgãos públicos, fazem uso de organismos de representatividade que assumem a direção e a fiscalização da cooperativa.

A pesquisa identificou que o Conselho Fiscal da cooperativa de crédito atua de forma independente, o que permite assegurar efetiva transparência, possui o apoio da Auditoria Interna e Externa da cooperativa. Significa que a eficiência do Conselho Fiscal depende de sua independência e imparcialidade na realização de suas atividades, o que soma no processo de autogestão da cooperativa.

Portanto, a pesquisa responde ao objetivo proposto, ao demonstrar a contribuição do Conselho Fiscal na autogestão da cooperativa, sua independência

frente à administração da cooperativa, frente aos cooperados que os elegeram em Assembleia Geral.

Ressalta-se que, o Conselho Fiscal é um dos órgãos da cooperativa que contribuiu para a sustentabilidade da cooperativa. Esse processo indica a importância da qualificação dos Conselheiros Fiscais da cooperativa. Neste estudo, aponta um elevado grau de formação, dois conselheiros com formação em nível superior, Engenharia Civil e Farmácia e um Técnico em Contabilidade, com experiências de gestão.

Recomenda-se, para futuros estudos, a investigação das dinâmicas de funcionamento entre a Assembleia Geral, Conselho de Administração e Diretoria das Cooperativas, por fazer parte da autogestão.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Lei n.º 5.764, de 16 de dezembro de 1971. Define a política nacional de cooperativismo, institui o regime jurídico das sociedades cooperativas e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L5764.htm
Acesso em: 12 Jul. 2018.

CANÇADO, A. C. **Autogestão em cooperativas populares: os desafios da prática**. 2004. 134 f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Escola de Administração da Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, 2004.

COOPER, D. R., SCHINDLER, P. S. **Métodos de pesquisa em Administração**. [Trad.] Luciana de Oliveira da Rocha. Porto Alegre: Bookman, 2003.

DRUCKER, P. F. **Liderança para o século XXI**. São Paulo: Futura, 2000.

FIGUEIREDO, N T. C. **Cooperativas Sociais. Alternativa para Inserção**. 1ª ed. Porto Alegre: Evangraf, 2009.

GONÇALVES, R.C. **A evolução do Cooperativismo agropecuário no Brasil**. 2012. Disponível em: <hdl.handle.net/10183/69983>. Acesso em: 19.02. 2014.

Instituto Brasileira de Governança Corporativa – IBGC. **Governança corporativa em empresas de controle familiar – Casos de Destaque no Brasil – São Paulo**, Editora Saint Paul, 2007.

IBGC - Instituto Brasileiro de Governança Corporativa. **Código das melhores práticas de governança corporativa**. 5. ed. São Paulo: IBGC, 2015a, 108p.

MUNHOZ, D. G. **Economia Aplicada: Técnicas de Pesquisa e Análise Econômica**. Brasília: Editora UNB, 1989.

OCERGS/SESCOOP/RS. Sistema. Disponível em <http://www.sescooprs.coop.br/cooperativismo/ramos-do-cooperativismo/>. Acesso em março/2020.

OLIVEIRA, D. P. R. **Manual de Gestão das Cooperativas: uma abordagem prática**. São Paulo: Atlas, 2006.

PRESNO AMODEO, N.B. **As Cooperativas e os Desafios da Competitividade**. Tese (Doutorado em Desenvolvimento, Agricultura e Sociedade) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

ROSSETTI, J. P.; ANDRADE, A. **Governança Corporativa: fundamentos, desenvolvimento e tendências**. (6a. ed.). São Paulo: Atlas, 2012.

SESCOOP – Serviço Nacional de Aprendizagem do Cooperativismo do Estado do Rio Grande do Sul. **Manual de Orientação para o Conselho Fiscal**. Porto Alegre – 2015.

SOUZA, A. R. **Um instantâneo da economia solidária no Brasil**. In: SINGER, P.; SOUZA, A. R. (orgs.). **A economia solidária no Brasil: a autogestão como resposta ao desemprego**. São Paulo: Contexto, 2000.

SCHNEIDER, J. O.; HENDGES, M. Educação e Capacitação Cooperativa: sua importância e aplicação. **ESAC Economia Solidária e Ação Cooperativa**: Unisinos, 2006.

SCHMIDHEINY, S. **Mudando o rumo: uma perspectiva empresarial global sobre desenvolvimento e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Ed. FGV, 1992.

VI. M. **Por uma boa pesquisa (qualitativa) em administração**. In: VIEIRA, M.; ZOUAIN, D. Pesquisa qualitativa em administração. Rio de Janeiro: FGV Editora. 2004.

CAPÍTULO 04

DESENVOLVIMENTO DE UMA PRÓTESE DE MÃO ROBÓTICA ANTROPOMÓRFICA SERVO-CONTROLADA

Maria Emília Ferreira Gonzalez Ribeiro

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense. Campus Passo Fundo
E-mail: mariafgonzalez505@gmail.com

Laura Bortoncello

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense. Campus Passo Fundo
E-mail: laura.bortocello@hotmail.com

Raul Eduardo Fernandez Sales

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense. Campus Passo Fundo
E-mail: raulsales@ifsul.edu.br

José Carlos Barbon Júnior

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense. Campus Passo Fundo
E-mail: jbarbonjunior@gmail.com

Gustavo André Vaccari

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense. Campus Passo Fundo
E-mail: gustavoandre.vaccari@hotmail.com

Henrique Zardin de Lima

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense. Campus Passo Fundo
E-mail: henriquezardindelima1@gmail.com

Bianca Rossato

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense. Campus Passo Fundo
E-mail: biancadrossato@gmail.com

Alexsander Furtado Carneiro

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense. Campus Passo Fundo
E-mail: alexsander.carneiro@passofundo.ifsul.edu.br

Anselmo Rafael Cukla

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense. Campus Passo Fundo
E-mail: anselmo.cukla@ufsm.br

Resumo: Este artigo tem a finalidade de apresentar o projeto eletromecânico e computacional do protótipo de uma prótese robótica de baixo custo para pacientes que sofreram amputação transradial do membro superior. O projeto visa desenvolver uma prótese mioelétrica que contribua para a recuperação da habilidade motora e obtenção de maior independência nas atividades diárias desses indivíduos, além de possivelmente beneficiar na autoestima e auxiliar na recuperação emocional. O protótipo antropomórfico é fabricado por impressão 3D, em termoplástico PLA e dispõe de algoritmos de controle clássicos que, aliados aos servomotores, propiciam a efetivação de testes preliminares das funções de movimento.

Palavras-chave: Engenharia biomédica; Biomecânica; Prótese; Baixo custo.

1. INTRODUÇÃO

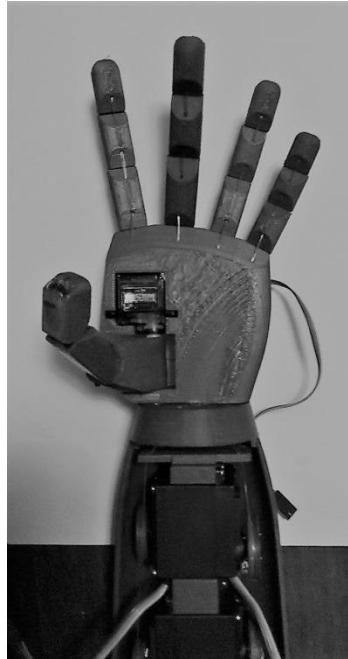
A ausência da mão para o ser humano, seja por amputação ou doença congênita, é um fator complicador e até limitante para muitas tarefas do dia-a-dia, visto que é o membro do corpo que realiza funções básicas como segurar e carregar um objeto, e outras, de elevada complexidade e precisão, como escrever ou costurar. Também possibilita a comunicação através de gestos, a linguagem de sinais e a expressão física aliada à fala e ao movimento do rosto (AIRES, 2008).

O uso de próteses com o objetivo de reabilitar indivíduos que sofreram amputação do membro superior ocorre há muitos séculos. Inicialmente, as próteses eram produzidas apenas para fins estéticos, visando restabelecer a autoestima do usuário e sua aceitação na sociedade antiga. Com o desenvolvimento tecnológico das civilizações e a descoberta de novos materiais, mecanismos e processos de fabricação, as próteses também evoluíram em aspectos antropomórficos e funcionais. Na atualidade, consegue-se maior controle, ausência de ruídos, leveza e uma gama satisfatória de movimentos possíveis para o dispositivo protético (ZUO; OLSON, 2014).

Todavia, as próteses mais desenvolvidas, que melhor reproduzem os movimentos da mão, chamadas próteses mioelétricas, possuem alto custo, o que torna seu acesso restrito às pessoas menos favorecidas financeiramente, como descrevem (BENNETT et al., 2015; CALDERON et al., 2017). Por esse motivo, este projeto tem como motivação estudar e construir um protótipo funcional de uma prótese biomédica de uma mão robotizada antropomórfica servo-controlada de baixo custo.

O protótipo, apresentado na Figura 1, foi confeccionado com o intuito de compreender e observar na prática o movimento das falanges dos dedos e dos mecanismos necessários para movimentá-los, assim como testar algoritmos de programação e maneiras de controle e leitura dos dados. Nesse protótipo, os movimentos são controlados externamente, isto é, a prótese ainda está conectada ao computador e executa os movimentos através de comandos enviados via teclado. O sistema computacional comanda os movimentos dos dedos através dos servomotores e esses movimentos seguem uma trajetória preestabelecida no microcontrolador.

Figura 1: Protótipo da mão robótica



Fonte: Os autores

Essas trajetórias definem os movimentos dos servomotores quanto à posição e à velocidade, determinando, assim, o nível de suavidade com o qual serão abertos ou fechados os dedos da mão. Cada trajetória é utilizada como referência para a movimentação dos servomotores que serão comandados pelo sistema elétrico. Este dispõe de um único servomotor para os dedos mínimo e anelar, um servomotor para o dedo médio e outro para o dedo indicador e, por fim, um servomotor e um microservomotor para o polegar. Os quatro servomotores possuem um único condicionador de sinal que, por sua vez, é ligado a um Arduino Uno, uma plataforma de desenvolvimento microeletrônico que irá processar os sinais dos comandos e acionamentos elétricos previstos no algoritmo de programação; já o microservomotor é conectado diretamente à plataforma microcontrolada.

O protótipo não efetua os movimentos de adução e abdução da mão e o pulso é imóvel, posto que para realização da maioria das tarefas diárias esses movimentos são dispensáveis. A posição original da mão biônica é de extensão, de modo que, quando todos os servomotores tensionam os fios de nylon, a mão se fecha. Cabe mencionar que o estágio atual do desenvolvimento não contempla a realização de ensaios da prótese em humanos, não sendo prevista, nesta versão do protótipo, seu acoplamento ao coto e nem questões específicas de projeto quanto à ergonomia, que serão objeto de estudo em versões posteriores.

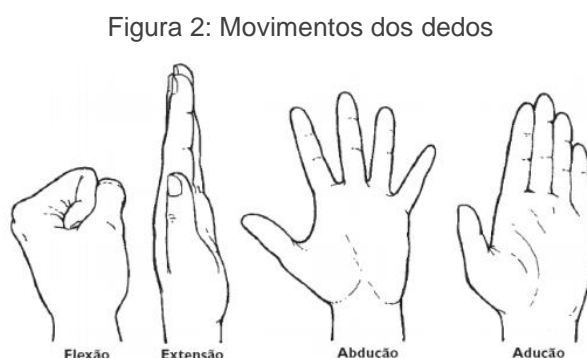
Escolhas convenientes de materiais e processos de fabricação são também fundamentais ao projeto. A impressão 3D permite um acabamento apropriado e custos reduzidos e por isso foi escolhida para a confecção da prótese, mais especificamente o processo de impressão 3D do tipo FDM (*Fused Deposition Modeling*), que combina o processo de extrusão com a deposição em camadas. O material é fundido após passar através da ponta da cabeça extrusora e, então, é depositado em camadas na estrutura elevatória, de modo que se solidifica sobre a camada antecedente (RELVAS, 2018). Para a fabricação do protótipo, utilizou-se o termoplástico PLA (poliácido láctico), material com pouca capacidade de flexão e alta rigidez, que viabiliza a produção de peças mais precisas em relação aos detalhes de projeto.

2. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho, o projeto foi dividido em 3 grandes blocos: sistema mecânico, sistema elétrico, e sistema computacional. A seguir são explanados cada um deles.

2.1 SISTEMA MECÂNICO

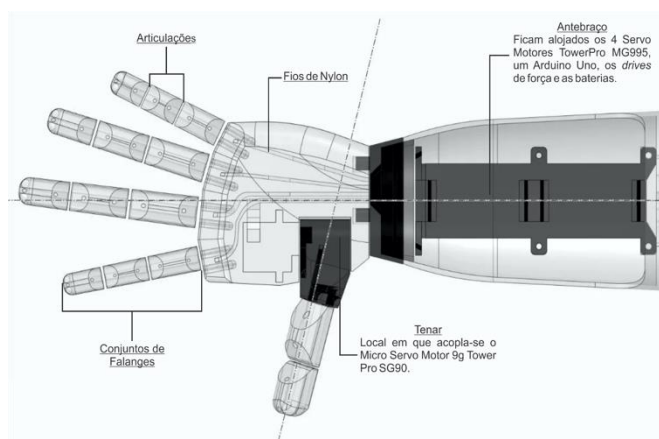
De acordo com [6], o grande número de articulações da mão proporciona uma ampla diversidade de movimentos que são utilizados no nosso dia a dia. O dedo polegar permite uma amplitude de movimentos e sempre realiza funções essenciais de manipulação de objetos, em conjunto com os outros dedos. As articulações dos dedos permitem flexão, extensão, abdução, adução e circundução (movimentos circulares), tal como apresentado na Figura 2.



Fonte: (AIRES, 2008)

No intuito de desenvolver um sistema mecânico capaz de reproduzir os movimentos da mão, a configuração escolhida para a fabricação e o estudo de movimentos foi o Projeto de (GROSS, 2018), que apresenta um braço mecânico composto por mão e antebraço antropomorficamente semelhantes (Figura 3) e compreende a esfera de amputação transradial do membro superior, para qual o protótipo é voltado.

Figura 3: Representação do protótipo baseado no modelo de Groos



Fonte: (GROSS, 2018)

Fundamentado no detalhamento dos movimentos da mão apresentado por (AIRES, 2008) e no modelo de prótese projetada por (GROSS, 2018), o protótipo desenvolvido neste projeto apresenta “articulações” que possibilitam os movimentos de flexão e extensão da mão. Por dentro da estrutura, conectados a servomotores, passam fios de nylon, que funcionam como tendões e, assim, possibilitam os movimentos de flexão e extensão dos dedos. O dedo polegar é ligado a um microservomotor e a um servomotor, executando os movimentos de abdução, extensão e hiperflexão.

Os dedos da mão são classificados de um a cinco e o polegar é o primeiro dígito. Nesta prótese, os dedos dois a cinco possuem três graus de liberdade, ou seja, um conjunto de três deslocamentos, simulando os movimentos entre as falanges (ossos que compõem os dedos), distais (terceira linha de falanges), mediais (segunda linha de falanges) e proximais (primeira linha de falanges), além do movimento da primeira linha de falanges e os metacarpos (ossos que compõe parte da estrutura da mão). O polegar também possui três graus de liberdade, porém realiza os movimentos

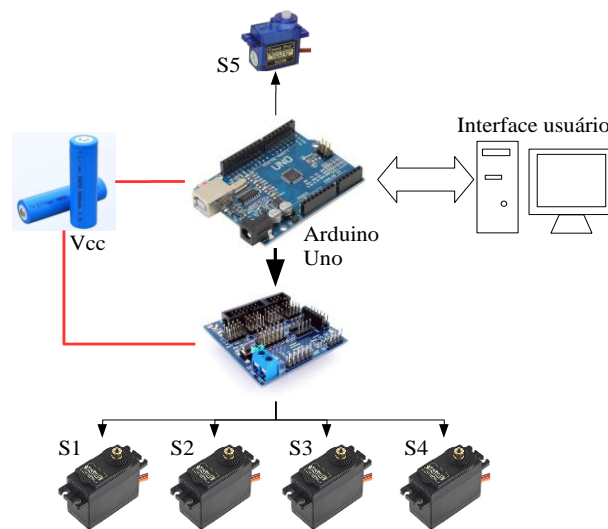
entre as falanges distal e proximal, entre essas e o metacarpo, e entre o metacarpo e o carpo (AIRES, 2008).

No segmento do antebraço estão alojados os quatro servomotores responsáveis pela movimentação dos dedos (enquanto o microservomotor encarregado de um dos movimentos do polegar se encontra numa cavidade na palma da mão), o controlador Arduino e os drivers de força e a bateria, como demonstra a Figura 3.

2.2 SISTEMA ELÉTRICO

O projeto elétrico do braço protético, encarregado de realizar o acionamento do sistema mecânico, é composto por um Arduino Uno, um condicionador de potência para motores de passo, um conjunto de baterias de 7,4V (Volts) e seis servomotores. Um diagrama de blocos do sistema elétrico é apresentado na Figura 4.

Figura 4: Diagrama de blocos do sistema elétrico

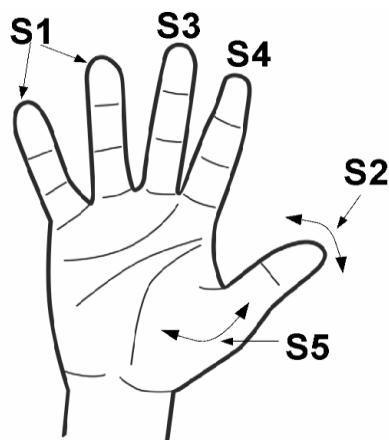


Fonte: Os autores

O sistema elétrico adotado no protótipo é alimentado por duas baterias de íon-lítio 18500 de 3,7V e 1200mAh conectadas em série, fornecendo, assim, uma tensão de 7,4V nos terminais. O hardware de controle é um Arduino UNO R3. A placa de expansão e driver de condicionamento dos servomotores é denominada comercialmente como “*Shield Sensor Uno V5.0 Placa Expansão V5*”, que facilita a conexão e comando dos motores e o Arduino. Esta placa de condicionamento de

sinais está ligada a 4 motores tipo *TowerPro* MG995. Cada motor é denominado de S1 a S5, em que S1 é o motor que aciona o dedo mínimo e anelar, o motor S2 controla a abertura e fechamento do dedo polegar, e este dedo ainda é comandado pelo motor S5 (Micro Servo Motor 9g Tower Pro SG90), que controla o giro do dedo em direção a palma da mão. O S5 é acionado diretamente do Arduino, sem utilizar a placa de condicionamento de sinal. Desta forma, o motor S3 aciona o dedo médio e o motor S4 o dedo indicador, tal como apresentado na Figura 5.

Figura 5: Motores de acionamento da mão protética



Fonte: Os autores

Na Figura 5, evidencia-se que os motores S1 a S4 permitem a movimentação dos dedos para a abertura e o fechamento (flexão e extensão), já o S5 realiza o fechamento, ou giro, do dedo polegar em sentido entrante e saliente em direção à palma da mão. Até o momento, o braço protético não possui sensores de posicionamento ou força para efetuar a realimentação da malha de controle, sendo assim, realiza-se um controle de malha aberta no sistema.

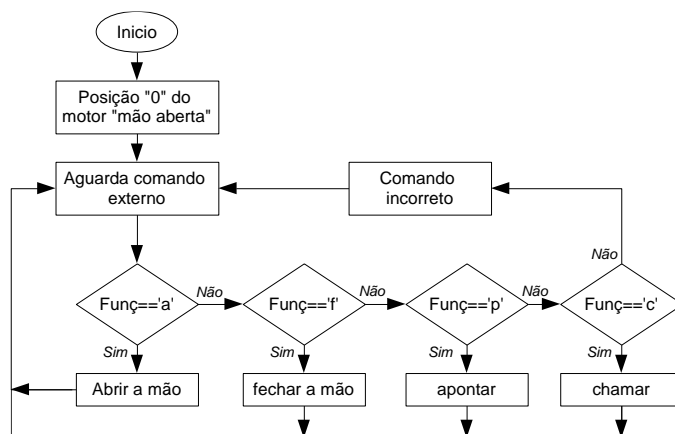
2.3 SISTEMA COMPUTACIONAL

O sistema computacional é dedicado principalmente a comandar os movimentos da prótese, tais como a extensão e a flexão dos dedos, que são efetuados pelo sistema elétrico através dos servomotores. Outra função do sistema computacional é definir a trajetória dos movimentos, assim como a execução de algoritmos de controle em malha aberta e a comunicação com o exterior. Todos estes

comandos são processados no Arduino UNO e seguem o mesmo esquema representado na Figura 4.

Para a programação do Arduino foi utilizada a própria plataforma IDE®, baseada na linguagem C/C++. Já para os comandos de movimentação dos motores, foi utilizada a biblioteca de código aberto “servo.h”. Um fluxograma da rotina utilizada para realizar os movimentos básicos da mão é apresentado na Figura 6.

Figura 6: Fluxograma principal dos movimentos do braço protético



Fonte: Os autores

Segundo a Figura 5, a rotina principal do braço nesta etapa do projeto, consiste em receber comandos enviados por um computador e, logo, executar uma sub-rotina específica dos movimentos da mão. Assim, inicialmente ao ligar, o sistema realiza um setup das posições da mão, deixando na posição “zero” ou totalmente aberta.

Após inicializar o braço, o sistema espera por ordens de movimentos, tais como abrir a mão, fechar, apontar, chamar, entre outras que possam ser programadas pelo usuário. Cada função é selecionada com uma letra, no caso de abrir é “a”, fechar “f”, e assim por diante. Caso seja inserido um dado incorreto, nada acontece, o Arduino simplesmente espera por um novo valor correto para ser executado. Observa-se que a rotina é um loop infinito.

De acordo com a Figura 6, estão apresentadas cinco sub-rotinas de movimento do braço protético: abrir, fechar, apontar e chamar. Para cada uma destas sub-rotinas é executada uma série de comandos que realiza uma combinação de movimentos dos dedos e assim executa a função e movimento global desejado. Devido ao fato de que cada dedo é acionado por meio de servomotores, estes possuem uma capacidade de giro de 0 a 180°. Em consequência das limitações físicas da mão, a atuação de cada

servomotor é de no máximo 150°. Assim, para mão aberta, as configurações das juntas são apresentadas na Equação (1) a seguir.

Figura 7: Mão aberta e mão fechada

$$\text{Mão aberta: } \left\{ \begin{array}{l} s_1 = 150 \\ s_2 = 0 \\ s_3 = 0 \\ s_4 = 0 \\ s_5 = 0 \end{array} \right\}$$

$$\text{Mão fechada: } \left\{ \begin{array}{l} s_1 = 0 \\ s_2 = 150 \\ s_3 = 150 \\ s_4 = 150 \\ s_5 = 150 \end{array} \right\}$$

Fonte: Os autores

Em virtude da posição física dos motores, foi preciso que o motor S1 estivesse com a referência invertida em relação aos outros motores. Além disso, também foi necessário que o motor S5 apresentasse limitação de deslocamento.

3. RESULTADOS PRELIMINARES E PLANEJAMENTO DE TRAJETÓRIA

Para a correta movimentação, é necessário realizar um planejamento de trajetória de cada atuador da mão, pois isto definirá atuação dos motores durante a sua operação. O planejamento de trajetória visa movimentos apropriados das juntas de atuação (movimentos rápidos, precisos, suaves, entre outros), aumentando a eficiência do sistema e sempre buscando o menor esforço por parte dos atuadores durante a execução da sub-rotina.

Existem vários métodos de planejamento de trajetória e um deles é a geração de *splines* de 3º ou funções polinomiais de terceira ordem a partir de pontos intermediários. Autores como (CHAPRA; CANALE, 2008; RUGGIERO; LOPES, 1996) explicam que é possível a obtenção de polinômios de terceiro grau a partir de um número de intervalos da trajetória ou pontos intermediários, tal como apresentado na Equação (2), a seguir.

$$f_i(x) = a_i x^3 + b_i x^2 + c_i x + d_i \quad (2)$$

Em que o $f_i(x)$ se refere a função do atuador, o coeficiente i é o número da junta da qual corresponde a função. Os valores de a , b , c e d são os coeficientes do polinômio obtido. Desse modo, para que os pontos, ou nós, sejam interpolados, existem n intervalos e, por consequência, incógnitas para serem obtidas ($n + 1$ pontos). As condições impostas para a *spline* são: 1) os valores das funções devem ser iguais nos nós internos ($2n - 2$ condições); 2) as funções do primeiro e do último segmento devem passar, respectivamente, pelos pontos inicial e final (2 condições); 3) as primeiras derivadas nos nós internos devem ser iguais ($n - 1$ condições); 4) as derivadas segundas nos nós internos devem ser iguais ($n - 1$ condições); e, 5) a segunda derivada no nó inicial e no final devem ser nulas (2 condições). A última condição, aplicada aos nós extremos da função, caracteriza a chamada *spline* natural, de forma que, se necessário, pode-se fazer com que a segunda derivada tenha valor diferente de zero nas extremidades da função.

De acordo com a explicação acima, cada uma das juntas é movimentada seguindo a referência de uma função de terceira ordem, em que, em um primeiro momento, foram definidos os pontos intermediários (posição e tempo) por onde a função deverá passar (Tabela 1), cujo resultado é uma trajetória suave que interpola estes pontos intermediários, tal como demonstrado na Figura 7.

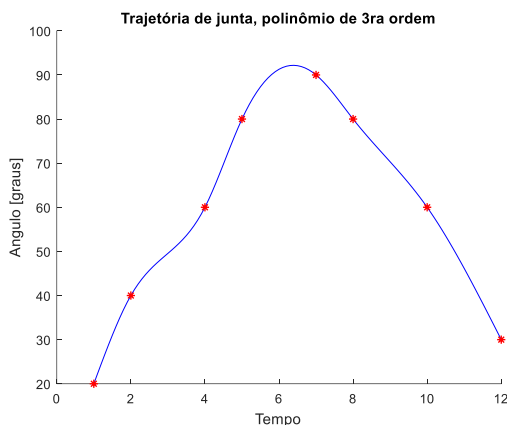
Tabela 1: Pontos intermediários da trajetória desejada

Pontos	Posição(°)	Tempo(s)
P1	20	1
P2	40	2
P3	60	4
P4	80	5
P5	90	7
P6	80	8
P7	60	10
P8	30	12

Fonte: Os autores

Nota-se que, na Figura 7, é apresentado no eixo das abcissas o tempo requerido para a movimentação e no eixo das ordenadas a posição do motor em ângulo. Para este trabalho, não foram avaliadas funções de trajetórias de velocidade e aceleração.

Figura 8: Função de trajetória de terceira ordem aplicada a um atuador ou servomotor da mão robótica



Fonte: Os autores

Ainda cabe reafirmar que o braço protético não apresenta uma malha de controle de laço fechado, portanto, o controle é em malha aberta, em que os ganhos do controle proporcional foram calculados empiricamente.

4. DISCUSSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para a efetivação das funções de movimento do protótipo nos testes iniciais, foi necessária a calibração dos servomotores, de modo a trabalharem tanto em acionamento individual quanto em grupo, a fim de que realizassem os movimentos sincronizados que foram programados, como fechar, abrir, apontar e chamar, seguindo uma trajetória de posição preestabelecida. A mão humana compreende quatro graus de liberdade para cada um dos dedos, com exceção do polegar, que contém cinco graus de liberdade. No entanto, para a implementação e programação dos movimentos da prótese, devido à complexidade de elaboração de sistemas de controle, os graus de liberdade foram reduzidos para três em todos os dedos, sem que isso compromettesse consideravelmente a sua funcionalidade.

Por se tratar de um protótipo mecânico, o braço protético não apresentou alta complexidade em sua montagem e na programação de seus movimentos elementares. Precisou-se de posterior planificação das funcionalidades da mão, tais como abrir, fechar, apontar e chamar, e organizar as devidas trajetórias de posição para cada motor atuador.

Entre os problemas apresentados no sistema computacional, houve a necessidade de corrigir inúmeras vezes o código de programação, devido à calibração, à trajetória de referência, à comunicação, entre outros fatores. Em diversas ocasiões, ocorreram problemas de comunicação entre o computador e o braço protético. Um problema ainda a ser resolvido é o fato de que nem todos os dedos possuem seu próprio servomotor, assim, foi necessária uma adaptação eletromecânica da prótese para otimizar o uso dos recursos, tal como visto na figura 5 nos atuadores S1...S5. Finalmente, o atuador S5 (*Micro Servo Motor 9g TowerPro SG90*) apresentou dificuldades em sua movimentação (baixa velocidade e força), pois não é alimentado diretamente pela “*Shield Sensor Uno V5.0 Placa Expansão V5*”, uma vez que esta somente disponibiliza saída para quatro servomotores.

O material PLA (poliácido láctico) com o qual foi fabricado o protótipo mostrou limitações no ato de segurar objetos devido a sua baixa aderência. Posteriormente, visa-se produzir os dedos da mão biônica, ou parte deles e da palma, em TPU (poliuretano termoplástico), pois é um material que combina características do plástico e da borracha e dessa maneira se adequará melhor às funções de “pegada” realizadas pela mão.

Um novo protótipo já está sendo desenvolvido pela equipe de pesquisa, aspirando à eficiência ergonômica e funcional para futuros usuários. O novo projeto busca aperfeiçoamentos no sistema computacional e elétrico, objetivando maior capacidade de processamento e facilidade de programação por parte dos usuários, com uma interface gráfica e comunicação sem fio. Ainda, o protótipo mecânico prevê melhorias quanto à implementação dos mecanismos de transmissão de movimentos, dispensando, assim, os atuais fios de nylon.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fapergs pelos recursos financeiros destinados ao desenvolvimento do projeto. De igual modo, fazemos menção ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense – Campus Passo Fundo, pelo apoio a esta iniciativa disponibilizando infraestrutura, equipamentos e instrumentos de laboratório, essenciais para alcançar os objetivos estabelecidos para esta proposta.

REFERÊNCIAS

AIRES, M. DE M. **Fisiologia**. 3ª Edição. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.

BENNETT, D. A. et al. A Multigrasp Hand Prosthesis for Providing Precision and Conformal Grasps. **IEEE/ASME Transactions on Mechatronics**, v. 20, n. 4, p. 1697–1704, ago. 2015.

CALDERON, C. A. et al. Design and Deployment of Grasp Control System applied to robotic hand prosthesis. **IEEE Latin America Transactions**, v. 15, n. 2, p. 181–188, fev. 2017.

CHAPRA, S. C.; CANALE, R. P. **Métodos Numéricos para Engenharia**. [s.l.] McGraw-Hill, 2008.

GROSS, R. **3D Printable Humanoid Robotic Hand**. Disponível em: <<https://www.myminifactory.com/object/3d-print-humanoid-robotic-hand-34508>>. Acesso em: 4 out. 2019.

RELVAS, C. **MUNDO DA IMPRESSAO 3D E O FABRICO DIGITAL, O**. Aveiro, Portugal: ENGEBOOK, 2018.

RUGGIERO, M. A. G.; LOPES, V. L. DA R. **Cálculo numérico: aspectos teóricos e computacionais**. [s.l.] Makron Books do Brasil, 1996.

ZUO, K. J.; OLSON, J. L. The evolution of functional hand replacement: From iron prostheses to hand transplantation. **Plastic Surgery**, v. 22, n. 1, p. 44–51, 2014.

CAPÍTULO 05

INTERDISCIPLINARIDADE: UMA MANEIRA LÚDICA DE ABORDAR OS CONTEÚDOS

Maria Lucia Teiceira Guerra de Mendonça

Doutora em Ciências – Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ) – Campus Rio de Janeiro

E-mail: maria.mendonça@ifrj.edu.br

Renata de S. Rianelli

Doutora em Química Orgânica – Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ) – Campus Rio de Janeiro

E-mail: renata.rianelli@ifrj.edu.br

Rosana Petinatti da Cruz

Doutora em Ciências – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) – CUTUR – Seropédica

E-mail: rosanapetinatti@gmail.com

Paulo Jorge Magalhães Teixeira

Doutor em Matemática – Colégio Pedro II (CPII) – Campus Tijuca

E-mail: pjcpai@yahoo.com.br

Marcelo Beauclair

Doutor em Letras – Colégio Pedro II (CPII) – Campus Tijuca

E-mail: marcelobeaclair@gmail.com

Resumo: Este trabalho de interdisciplinaridade ocorreu entre as disciplinas de Química, Língua Portuguesa e Matemática, com os alunos do EJA, tendo como eixo principal o tema "xampu". A metodologia utilizada, na disciplina de Química, foi a de formular o produto e abordar conteúdos sobre polaridade e solubilidade de compostos orgânicos e inorgânicos; a disciplina de Língua Portuguesa ficou responsável por elaborar o rótulo com as instruções de uso, utilizando o Modo Imperativo da linguagem; a Matemática teve a finalidade de calcular o volume do recipiente de acondicionamento do xampu, por equação e comparação do mesmo com a proveta. Os resultados foram bastantes significativos para às três disciplinas, já que os alunos do EJA apresentam bastante dificuldade. Como conclusão, o trabalho permitiu, além da concretização do conteúdo de maneira lúdica e a integração entre as três disciplinas, uma aprendizagem significativa e globalizada.

Palavras-chave: Interdisciplinaridade; lúdico; xampu; EJA.

Abstract: This interdisciplinary work took place among the disciplines of Chemistry, Portuguese Language and Mathematics as the main axis the "shampoo" with EJA students. The methodology used in the Chemistry course was to formulate the product and address contents on polarity and solubility of organic and inorganic compounds, the Portuguese Language course was responsible for preparing the label with instructions for use, using the Imperative Mode of language

and Mathematics had the purpose of calculating the volume of the shampoo packaging container, through an equation and comparing it with the beaker. The results were quite significant for these disciplines, as EJA students have a lot of difficulties. The conclusion of this work, in addition to the materialization of the content in a playful and interconnected way between the three disciplines, resulted in significant and globalized learning.

Keywords: Interdisciplinary; playful; shampoo; EJA.

1. INTRODUÇÃO

Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) recomendam a interdisciplinaridade entre os vários campos do conhecimento, indicando uma abordagem que considere a inter-relação entre as disciplinas, questionando a visão compartimentada da realidade, visão esta sobre a qual a escola, historicamente, se constituiu (BRASIL, 1998).

A ideia de interdisciplinaridade é, justamente, construída de modo que possa ocorrer um diálogo entre as várias formas do conhecimento. Para isto ser realizado, deve existir troca e reciprocidade entre as disciplinas dispostas a fomentar o aprendizado do aluno através deste consenso (JAPIASSU, 1976).

A interdisciplinaridade, portanto, está na conexão entre as várias áreas do conhecimento, com a intenção de globalizar, ou seja, fazer com que as diversas disciplinas deixem de ser compartimentalizadas. Embora de extrema valia, a sua implantação apresenta enorme dificuldade para ser implantada, devido à tradição escolar (BRASIL, 1998).

Quanto à ludicidade, trata-se de um conceito complexo. Lopes (2004) aponta algumas palavras utilizadas como manifestações lúdicas. São elas: brincar, jogar, brinquedo, recrear e lazer, ou seja, estão relacionadas a atividades prazerosas. A sua relação com a aprendizagem é bem-vinda, a fim de estimular e intensificar o aprendizado do aluno. Já para Luckesi (2002) a ludicidade está relacionada a um estado de consciência, ao mundo interior do indivíduo. Desse modo, as atividades propostas pelos professores são consideradas lúdicas quando possibilitam que o aluno vivencie uma experiência de forma plena, ao que o autor denomina "vivência lúdica". Neste trabalho a ludicidade está relacionada a atividades prazerosas, que não são necessariamente jogos nem a eles se restringem.

Na literatura, existem alguns trabalhos sobre interdisciplinaridade e sobre ludicidade. Mendonça e seus colaboradores (2017) apresentaram um trabalho de interdisciplinaridade sobre o acidente de Chernobyl, com as disciplinas de Química, de Biologia e de Artes. Constataram uma enorme motivação e criatividade por parte dos alunos, com a construção de cartazes, afixados por todo o instituto, sendo o clímax do trabalho a criação e execução de uma peça de teatro abordando o acidente nuclear, com explicações sobre o ocorrido e suas consequências na vida das pessoas.

Cruz e seus colaboradores (2017), por sua vez, realizaram alguns trabalhos na mesma modalidade. Dentre eles, investigaram o meio ambiente por meio da interdisciplinaridade entre Química Ambiental e Sensoriamento Remoto, com uma visita ao Parque Estadual da Ilha Grande, onde houve coleta de amostras e análise de solo no local, o que propiciou a conscientização sobre o meio ambiente e promoveu uma aprendizagem bastante significativa. Também Cruz et al. (2016) realizaram um trabalho entre Química Ambiental e Microbiologia Ambiental, esta última com o objetivo de estudar o sistema respiratório e digestivo dos anelídeos, por meio do crescimento ou não de hortaliças, enquanto a primeira disciplina teve a intenção de estudar o solo com a introdução dos anelídeos no mesmo.

Na literatura, existem alguns trabalhos que abordaram a importância do lúdico no processo ensino-aprendizagem. Dentre eles, o de Nascimento e Coutinho (2020), realizado numa escola municipal, com o uso de materiais reciclados para as atividades lúdicas propostas, tendo os autores concluído que o trabalho proporcionou aos alunos uma conscientização da importância da preservação do meio ambiente.

Já Antunes e seus colaboradores (2020) realizaram o aprendizado das operações de adição, subtração, multiplicação e divisão, numa escola municipal, por meio de jogos lúdicos e constataram a grande motivação por parte dos alunos, o que facilitou o processo de ensino e aprendizagem.

Outro trabalho foi o de Crespo e Vieira (2021), em que abordaram o conteúdo de Tabela Periódica por meio da construção de um jogo didático denominado QuimiVille, com a intenção de contextualizar os conteúdos da disciplina de Química e também para que os alunos do Ensino de Jovens e Adultos (EJA) tivessem uma aprendizagem significativa.

Já o presente trabalho teve como objetivo que os alunos do EJA tivessem uma aprendizagem significativa por meio de atividades lúdicas desenvolvidas nas três disciplinas, Química, Língua Portuguesa e Matemática (interdisciplinaridade), com um tema central: "xampu".

2. METODOLOGIA

O trabalho em questão foi realizado entre as disciplinas de Química, Língua Portuguesa e Matemática, com os alunos pertencentes ao EJA do Colégio Pedro II do Campus Tijuca II.

A disciplina de Química realizou um experimento que consistia na confecção de um xampu, onde os conteúdos trabalhados foram polaridade de moléculas, solubilidade e viscosidade.

Esses conceitos foram explicados em sala de aula e puderam ser observados na elaboração do xampu, devido à facilidade/dificuldade na solubilização dos vários componentes.

A disciplina de Língua Portuguesa elaborou a etiqueta e o rótulo do xampu para investigar a formação do Modo Imperativo da linguagem de propaganda. Os alunos, a partir dos produtos feitos, criaram um nome e um slogan.

A disciplina de Matemática determinou o volume de xampu existente no frasco para acondicionar, utilizando as equações matemáticas de volume e também o conteúdo de conversão de unidades.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na disciplina de Química, os alunos, ao confeccionarem o xampu, puderam observar que certos componentes apresentavam dificuldade e outros, facilidade em serem solubilizados, mostrando, assim, a diferença nas polaridades das substâncias. Houve, portanto, a concretização, de maneira lúdica e de forma útil, dos conteúdos referentes à disciplina. Na formulação, cada aluno podia escolher a cor e a essência de sua preferência para o seu xampu (figura 1e 2), criando enorme entusiasmo e grande satisfação na elaboração do produto.

Na disciplina de Língua Portuguesa, os alunos, ao empregarem o Modo Imperativo para elaborarem o modo de usar o produto, apresentaram grande criatividade (figura 3).

Figura 1: Insumos diversos (corantes e essências) para a formulação do xampu



Fonte: Os autores

Figura 2: Confeção do xampu pelos alunos na disciplina de Química



Fonte: Os autores

Figura 3: Rótulos elaborados pelos alunos na disciplina de Língua Portuguesa



Fonte: Os autores

Na disciplina de Matemática, a concretização do conteúdo deu-se pela determinação do volume do xampu no frasco e, ainda, pela discussão dos erros, ao se comparar o valor encontrado para a determinação do volume, por meio da equação, com a medida da proveta (figura 4).

Figura 4: Determinação do volume na disciplina de Matemática



Fonte: Os autores

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Concluimos que trabalhos experimentais que visam concretizar o conteúdo geram uma motivação e um grande interesse por parte dos alunos, principalmente alunos pertencentes ao programa do EJA, por apresentarem uma dificuldade muito grande. Desta maneira, a aprendizagem passa a ser significativa, aliando o lúdico ao aprendizado e proporcionando uma globalização do conhecimento.

A interdisciplinaridade entre as Ciências Exatas (Matemática e Química) e a Língua Portuguesa mostrou ao aluno e também a nós, professores, a possibilidade de ligação e interação de conteúdos de diferentes disciplinas, descompartmentalizando, assim, o conhecimento.

REFERÊNCIAS

ANTUNES; C.R. *et al.* O lúdico para o ensino das operações de adição, subtração, multiplicação e divisão: Uma prática realizada na Escola Lauro Sodré em Moju - Pará **Brazilian Journal of Development** .v. 6, n. 9, p. 68744-68756, sep. 2020.

BRASIL, Parâmetros Curriculares Nacionais Brasília, DF: MEC, 1998.
CRESPO, T.M.; VIEIRA, V.S. Conquistando “QUIMIVILLE”: o Lúdico no ensino-aprendizagem dos conteúdos de Química na EJA. **Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico** v. 7, e135021, 2021. Disponível em: <http://200.129.168.14:9000/educitec/index.php/educitec/article/view/1350/659>. Acessado em: 10 jan. 2021.

CRUZ *et al.* Investigando o meio ambiente através da interdisciplinaridade. *In*: 1º WORKSHOP ARTE E CIÊNCIA: REFLEXÃO INTEGRADA NO PERCURSO HISTÓRICO DA PAISAGEM, 2017, Rio de Janeiro. **Anais[...]**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2017.

CRUZ, R. P; *et al.* Atividade interdisciplinar entre as disciplinas de Química Ambiental e a Microbiologia: Relato de uma experiência. *In*: ENCONTRO REGIONAL JANEIRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA – RIO DE JANEIRO, 15, 2016, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2016.

JAPIASSU H. Interdisciplinaridade e patologia do saber. Rio de Janeiro: Imago.1976.
LOPES, M. C. Ludicidade humana: contributos para a busca dos sentidos do humano. Aveiro: Universidade de Aveiro, 2004.

LUCKESI, C. C. Ludicidade e atividades lúdicas: uma abordagem a partir da experiência interna. Salvador: GEPEL, Programa de Pós-Graduação em Educação, FAGED/UFBA, 2002. (Coletânea Educação e Ludicidade –Ensaio 02).

MENDONÇA, M.L.T.G. *et al.* .Abordando um dos maiores acidentes nucleares da história através da interdisciplinaridade. **Revista Soldebras**.v.12, n.134, pp. 48-53, fevereiro, 2017. Disponível em: <<http://www.sodebras.com.br/edicoes/N134.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2021.

NASCIMENTO, K.A.L.S.; COUTINHO, D.J.G. A importância do lúdico no processo ensino aprendizagem. **Brazilian Journal of Development**. v. 6, n. 1, p. 5056-5065, jan. 2020.

CAPÍTULO 06

DESENVOLVIMENTO DE SOLUÇÃO IoT PARA SENSORIAMENTO HÍDRICO EM TEMPO REAL

Jorge Otta Júnior

Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Toledo
E-mail: tamahome14@gmail.com

Leandro Augusto de Carvalho

Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Toledo
E-mail: leandro.carvalho89@gmail.com

Augusto Vaghetti Luchese

Universidade Federal do Paraná - Campus Palotina
E-mail: aluchese@gmail.com

Pedro Luiz de Paula

Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Medianeira
E-mail: plpf2004@gmail.com

Resumo: O crescente aumento da população mundial provoca aumento no uso dos recursos naturais para sua manutenção, sendo um deles, o hídrico. O objetivo deste artigo é realizar um estudo das mecânicas da infiltração e retenção hídrica no solo por meio de sensores para maximizar o uso de água na agricultura e avaliar outras características hídricas do solo. Foram realizados procedimentos de calibração em ambiente controlado baseado nas leituras do método padrão de estufa. O artigo utilizou-se de equipamentos construídos a baixo custo que possibilitarão a reprodução dos resultados alcançados pela comunidade de desenvolvedores e pesquisadores interessados na continuidade do trabalho apresentado. Foi possível realizar a calibragem dos sensores de umidade possibilitando medição em ambiente controlado. Os dados coletados possibilitaram informações preliminares sobre a infiltração e retenção hídrica dos três solos estudados.

Palavras-chave: Umidade do solo; Monitoramento; Arduíno.

1. INTRODUÇÃO

A umidade do solo, variável ambiental, hídrica e climática essencial, afeta fortemente os fluxos de água na superfície do solo com impactos na temperatura e evapotranspiração (Mittelbach, 2012). A interação entre a atmosfera e umidade do solo tem recebido, em anos recentes, crescente atenção na pesquisa do clima (Seneviratne, 2010).

Determinando o balanço de água na zona das raízes e a mecânica de infiltração de água no solo, é possível também determinar a velocidade e eficiência que as culturas plantadas absorvem nutrientes para crescimento. Nota-se uma crescente necessidade de otimização no uso dos recursos hídricos disponíveis considerando-se as crises hídricas reportadas na conjuntura, relatório de responsabilidade da Agência Nacional das Águas (ANA), de acordo com a Resolução nº 58/2006. Entre os anos de 2012 e 2016, a bacia do São Francisco enfrentou forte seca, sendo que em 2015, esse reservatório, do Tocantins-Araguaia e das demais regiões hidrográficas tiveram os menores índices do período (ANA, 2019). Outro motivo de preocupação é a bacia do São Francisco ser umas das 3 bacias componentes do Sistema Interligado Nacional (SIN) que totalizam 266 bilhões de m³, cerca de 88% da capacidade de armazenamento do SIN (ANA, 2019).

A demanda pelo uso de água no Brasil é crescente, com aumento estimado de aproximadamente 80% no total retirado de água nas últimas duas décadas e com previsão de aumento de 30% até 2030 (ANA, 2019). Exigindo grande uso de recursos hídricos para produção de alimentos e eletricidade, especialmente no Brasil, um país com grande parte de sua energia produzida por hidrelétricas, com 64,5% da matriz elétrica (ANA, 2019).

De acordo com o Conjuntura de 2017, relatório anual de elaboração de responsabilidade da ANA, 67,2% da vazão média de consumo de 1.109m³s⁻¹ são consumidos pela irrigação. A atividade agropecuária no Brasil tem importante papel para a economia do país. Particularmente diversas culturas têm projeção de crescimento, 3,3% do algodão em pluma e arroz, 1,4%, milho, 1,7%, trigo, 1,2%, soja, 2,3% e café, 4,4% ao ano até 2022, segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2018).

Visando o fornecimento de informações acerca das condições hídricas do solo, este artigo utiliza um protótipo constituído por um conjunto de sensores de baixo custo

para realizar estudo sobre a infiltração e retenção de água em três amostras de textura de solo diferentes em tempo real e em ambiente controlado.

2. METODOLOGIA

O método da estufa é utilizado como método padrão e de referência para realizar a medição do conteúdo gravimétrico da água no solo e consiste em deixar uma quantidade de material com peso conhecido secando em estufa por um período entre 24 e 48 horas a uma temperatura entre 105 e 110°C. A diferença entre o peso do material úmido e o seco é o peso da umidade que estava contida no material analisado (Mantovani, 2009) de acordo com a equação 1, onde M_u é o peso da amostra úmida e M_s é o peso da amostra seca: $\%Umididade = ((M_u - M_s) / M_s) \cdot 100$

Equação 1 – Fórmula para obtenção da porcentagem de umidade gravimétrica

As principais vantagens desse método são a integridade estrutural da amostra analisada e a alta confiabilidade na medição obtida, além da aplicabilidade para diversos materiais a serem estudados. A grande demora (24 a 48 horas) para obtenção de qualquer leitura e seu caráter destrutivo, não permitindo sua repetibilidade em uma mesma amostra, são suas principais desvantagens.

Objetivando agilizar a leitura desse importante parâmetro do solo, diversos sensores foram desenvolvidos de modo a realizar a leitura de outro parâmetro como resistência elétrica, capacitância ou pressão, e relacioná-lo com a umidade do solo utilizando leituras obtidas pelo método padrão da estufa (Mantovani, 2009). Segundo Silva et al (2008) para aumentar o nível de precisão é necessário realizar calibrações para adaptar as leituras do sensor ao ambiente em que será utilizado.

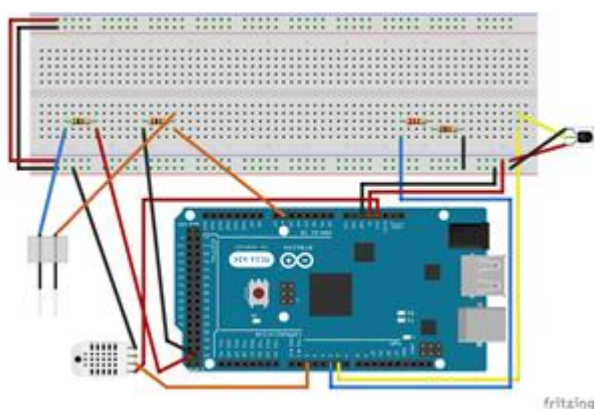
Sensores industriais como os citados podem custar R\$ 4.000,00 reais e suas unidades armazenadoras (datalogger) R\$ 3.000,00 adicionais na data de realização deste estudo (15/06/2018).

Foram considerados os microcontroladores Arduino e Raspberry como possíveis armazenadores e coletores de dados. Arduino foi lançado como uma plataforma de desenvolvimento livre, composto basicamente de um micro controlador com entradas e saídas digitais e analógicas. A escolha por este micro controlador como coletor de dados foi em decorrência do conversor analógico-digital integrado à placa que permite a leitura de sinais analógicos sem a adição de componentes adicionais. Como armazenador de dados, optou-se pelo uso de um Raspberry PI com

um disco rígido conectado pela porta USB, pela vantagem de utilização do ambiente de desenvolvimento integrado ao Sistema Operacional recomendado.

O esquemático da conexão dos componentes encontra-se na figura 1. Entrada analógica 6 a 15 para os sensores de umidade de solo. Saídas 22 a 4, em pares, para cada sensor. Entradas PWM 6 a 9 para os sensores DS18B20. A alimentação e comunicação entre o Arduino e o Raspberry foi realizada por um cabo USB e os dados foram transmitidos utilizando o protocolo serial.

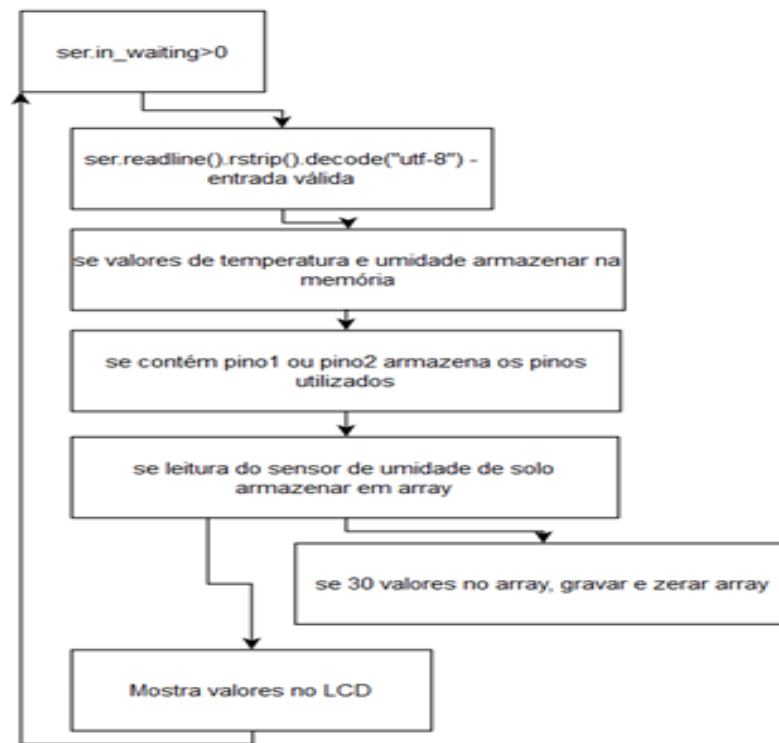
Figura 1: Esquemático da conexão dos componentes



Fonte: Os autores

Os sensores DHT22 foram utilizados para verificar possível correlação entre as leituras obtidas pelos sensores e a umidade e temperatura locais quando da calibração. Os sensores DS18B20 foram utilizados para verificar se há mudança de temperatura causada pelo processo de calibração utilizado para os solos estudados.

Figura 2: Diagrama do código executado no Raspberry PI



Fonte: Os autores

A figura 2 apresenta o pseudocódigo executado no Raspberry. Aguarda-se que o status `in_waiting` mude para maior que zero para então verificar se são dados válidos a serem armazenados. Se forem valores de temperatura e umidade ou os pinos utilizados na leitura, são armazenados na memória em variáveis simples. Se for leitura de um sensor de umidade de solo, os valores são armazenados em um array. Assim que esse array atinge 30 registros, seu conteúdo é armazenado em arquivo em mídia não volátil e zerado. Após essas verificações, os valores lidos são apresentados em um LCD para visualização pelo operador.

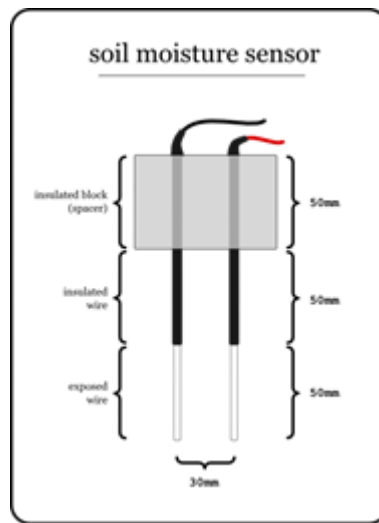
A rotina principal executada no Arduino é a leitura do sensor de umidade de solo e está apresentada na sequência abaixo:

- seta direção de leitura do sensor (do pino de ID menor para o maior)
- espera 100ms
- leitura pela porta analógica
- espera 100ms
- seta direção de leitura invertida
- espera 100ms
- leitura pela porta analógica e seu valor subtraído de 1023 (1)

- espera 100ms
- desativa os dois pinos do sensor de umidade de solo

A pausa entre cada passo foi adicionada para evitar que a rotina executasse rápido demais e causasse possível alteração no solo estudado. Como a leitura é realizada nos dois sentidos (do pino de ID menor para o maior e vice-versa), o passo (1) subtrai o valor lido de 1023 para o sentido invertido de modo a possibilitar a média dos valores lidos pelo sensor de umidade de solo.

Figura 3: Esquemático do sensor de umidade de solo



Fonte: gardenbot.org

O esquemático do sensor utilizado está representado na figura 3 e é do tipo resistivo. Foram utilizados dois segmentos de arame galvanizado de 12 gauges cujas pontas foram conectadas às portas do Arduino. Os valores, obtidos pelas portas analógicas em uma escala de 0 a 1023, portanto em uma resolução de 10 bits, quantificam a variação da passagem de corrente elétrica entre as pontas do sensor e a média dos valores medidos nos dois sentidos foram utilizadas para correlação com a umidade pelo método padrão. De modo a diminuir as incertezas nas medições dos sensores, o processo de calibração foi padronizado e repetido três vezes para cada sensor utilizando três amostras de solo com texturas diferentes.

O processo de coleta de dados para a calibração seguiu as instruções constantes na NBR 6457:2016, da ABNT, em especial sobre a quantidade de material em massa seca a tomar. O processo de calibração foi baseado também no método utilizado por Pizetta (2015), descrito por Kinzli (2012) e citado por Spelman et al

(2013). Um quilo de amostra a umidade higroscópica foi lentamente umedecido até o nível de saturação. A quantidade de água necessária foi aferida e utilizada como referência para o valor máximo que os sensores deveriam registrar.

Foram utilizadas duas garrafas pet de 2,5 litros cortadas ao meio para acondicionar a amostra para realização das leituras de calibração de modo a padronizar a distribuição da amostra evitando que diferenças na compactação e distribuição da amostra causassem leituras díspares para a mesma amostra. Para cada rodada, foi utilizado um quilo de cada amostra para determinação do nível 100% de saturação. Separou-se um litro de água destilada que foi despejada na amostra lentamente de modo a evitar compactação na superfície da amostra. Quando a amostra ficava visualmente a 100% de saturação, o peso da amostra e da água inserida era aferido. Se durante a meia hora seguinte a amostra não apresentasse visualmente 100% de saturação, mais água era despejada na amostra.

Os solos estudados foram coletados na região de Toledo-PR e Palotina – PR, de texturas muito argilosa, argilosa e média. A amostra muito argilosa foi coletada na posição longitude 24°43'58.9"S e latitude 53°45'53.0"O, e as amostras argilosa e média, nas 24°11'19.2"S 53°47'44.6"W e 24°11'33.4"S 53°48'30.8"W respectivamente.

3. RESULTADOS

Após a coleta de dados da calibração dos sensores, procedeu-se a um estudo estatístico acerca destes. Calculou-se a estatística descritiva de modo a verificar as características dos dados obtidos para a calibração dos sensores e sua correlação com a umidade obtida pelo método padrão de estufa.

Nota-se pela tabela 1, ilustrando os desvios gerais padrão, variância e coeficientes de variação, que com o aumento do teor de umidade inserido, o coeficiente de variação diminui e os valores de leitura variam menos do valor médio das leituras amostrais. Esperava-se que a variância acompanhasse o coeficiente de variação, porém a maior variância foi verificada para os níveis com maiores teores de umidade. Da mesma forma, os desvios gerais padrão foram menores para os níveis de saturação de 0 a 20, enquanto para os outros níveis de saturação os desvios foram maiores chegando a 98,38 para 40% de saturação para a textura argilosa.

Tabela 1: Desvio geral padrão, variância geral e coeficiente de variação dos níveis de umidade 0 a 100 para os três solos de textura diferenciada estudados. MA – muito argiloso; Arg – Argiloso e Média.

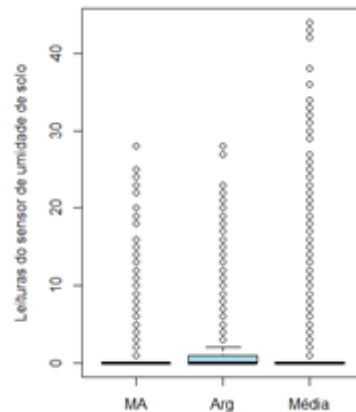
Nível	Solo	Desvio Geral Padrão	Variância	Coef. De Variação (%)
0	MA	4,38	19,26	278,70
	Arg	3,42	11,73	253,37
	Média	6,19	38,30	271,98
20	MA	6,65	44,24	85,53
	Arg	3,42	11,73	50,67
	Média	17,87	319,19	10,77
40	MA	13,60	184,89	29,90
	Arg	98,37	9677,17	19,19
	Média	69,01	4763,05	9,65
60	MA	37,86	1433,60	9,35
	Arg	31,84	1013,70	3,90
	Média	38,37	1472,54	4,60
80	MA	43,53	1894,67	6,98
	Arg	24,32	591,67	3,45
	Média	44,01	1937,06	6,49
100	MA	37,37	1392,36	4,86
	Arg	28,68	822,35	4,77
	Média	27,61	762,47	4,62

Fonte: Os autores

Construiu-se boxplot de todos os níveis de saturação para as 3 texturas de modo a avaliar a existência de pontos discrepantes. Os pontos discrepantes foram mais frequentes nos níveis de umidade de 0 a 40, sendo muito numerosos para os três solos estudados para o nível 0.

Nota-se pela figura 4 ilustrando o boxplot das leituras registradas ao nível de 0% de saturação que para esse nível, o sensor terá dificuldade de registrar os valores reais de umidade para os níveis próximos devido à grande quantidade de outliers encontrados e à alta variância e coeficiente de variação para esse nível de saturação de umidade para as três texturas.

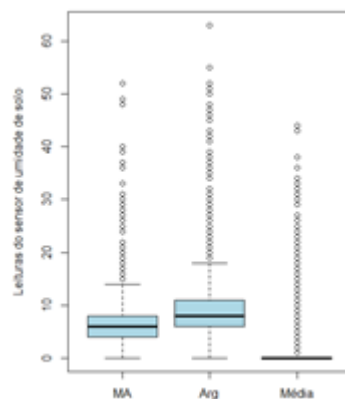
Figura 4: Boxplot das três texturas de solo estudadas ao nível de 0% de saturação. Da esquerda para direita: MA - muito argilosa, Arg - argilosa e Média – média



Fonte: Os autores

Nota-se pelos bloxplots, ilustrados na figura 5, que ao nível de 20% de saturação, a variabilidade das leituras é aproximadamente a mesma para as texturas muito argilosa e argilosa, porém é bem alta para a textura média e por isso, espera-se uma maior variabilidade nas leituras para essa textura quando da coleta de dados em condições similares às encontradas no campo. Para esse nível de saturação a distribuição das leituras é aparentemente normal.

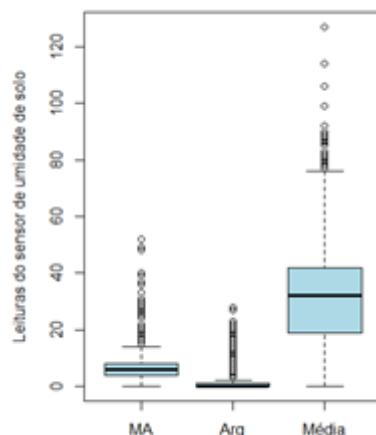
Figura 5: Boxplot das três texturas de solo estudadas ao nível de 20% de saturação. Da esquerda para direita: MA - muito argilosa, Arg - argilosa e Média – média



Fonte: Os autores

A figura 6, mostra que ao nível de 40% de saturação grande variabilidade nas leituras para as texturas argilosa e média sendo que para a argilosa, houve uma maior distribuição para os valores menores que a mediana. A textura muito argilosa tem uma distribuição com menor variabilidade e aparentemente do tipo normal.

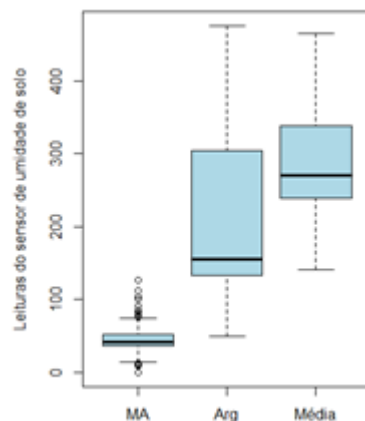
Figura 6: Boxplot das três texturas de solo estudadas ao nível de 40% de saturação. Da esquerda para direita: MA - muito argilosa, Arg - argilosa e Média – média



Fonte: Os autores

Analisando ao nível de 60% de saturação, ilustrado na figura 7, nota-se grande amplitude nos valores lidos para a textura muito argilosa com uma proporção maior de valores maiores que a mediana. Os valores lidos nas texturas argilosa e média apresentaram menor amplitude na variação dos seus valores.

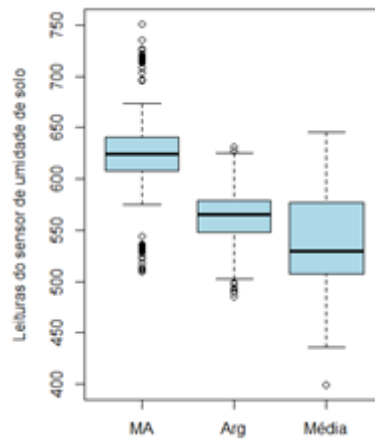
Figura 7: Boxplot das três texturas de solo estudadas ao nível de 60% de saturação. Da esquerda para direita: MA - muito argilosa, Arg - argilosa e Média – média



Fonte: Os autores

Ao nível de 80% de umidade, ilustrado na figura 8, o boxplot da textura argilosa apresentou distribuição normal enquanto a textura muito argilosa e a média, apresentaram distribuição tendendo a valores maiores e menores que a mediana, respectivamente.

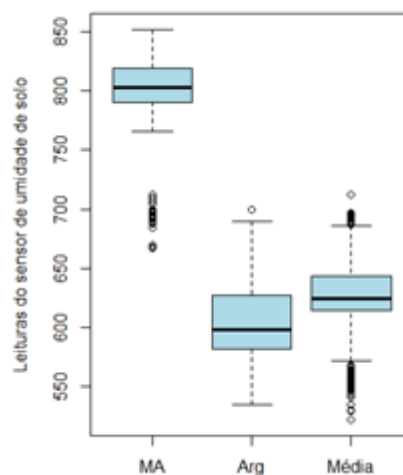
Figura 8: Boxplot das três texturas de solo estudadas ao nível de 80% de saturação. Da esquerda para direita: MA - muito argilosa, Arg - argilosa e Média – média



Fonte: Os autores

A 100% de saturação, ilustrada na figura 8, as leituras da textura muito argilosa apresentaram acentuada variabilidade com a maior parte de seus valores tendendo a serem menores que a mediana. As leituras das texturas argilosa e média apresentaram menor variabilidade sendo que a textura média apresentou valores perto do ideal, com pouca variabilidade e com a maior parte de seus valores perto da mediana.

Figura 9: Boxplot das três texturas de solo estudadas ao nível de 100% de saturação. Da esquerda para direita: MA - muito argilosa, Arg - argilosa e Média – média



Fonte: Os autores

Nota-se pelas figuras 4 a 9 que inicialmente a variabilidade das texturas muito argilosa e argilosa foram parecidas e bem baixas enquanto a variabilidade da textura

média foi bastante ampla. Enquanto a textura argilosa apresentou variabilidade menor entre os níveis de umidade, exceto a 40% de umidade, a textura média apresentou menor variabilidade a níveis mais altos de umidade, a textura muito argilosa apresentou variabilidade menor para as umidades mais baixas.

Acredita-se que esse comportamento tenha relação com a quantidade de água necessária para atingir o nível de 100% de saturação. Enquanto que para as texturas muito argilosa e argilosa foram usados 520 mL e 507 mL de água, para a textura média foram usados somente 392 mL de água. A tabela 2 mostra a quantidade de água usada para cada nível de saturação.

Tabela 2: Quantidade de água necessária para atingir os níveis de saturação para as texturas estudadas

Nível	Muito argilosa (mL)	Argilosa (mL)	Média (mL)
20	104	101,4	78,4
40	208	202,8	156,8
60	312	304,2	235,2
80	416	405,6	313,6
100	520	507	392

Fonte: Os autores

Embora a variabilidade nas leituras pareça excessiva, é importante considerar que as amostras utilizadas foram homogeneizadas utilizando uma peneira de 2 mm de malha, como executado por Predevello & Loyola, 2005, e, portanto, com uma tendência a criar macroporos com uma variabilidade e frequência maiores do que uma de abertura menor. Ademais devido à natureza do sensor devemos optar entre duas opções ao realizar sua calibração:

Homogeneizar a amostra entre as trocas de sensores visando evitar que os sucessivos furos provocados pelo sensor criem alterações na estrutura da amostra, porém com a consequência de alterar sua estrutura e, portanto, os valores de leitura. Essa constante homogeneização provocará ainda a expulsão da umidade causada pela constante manipulação da amostra para níveis mais altos de umidade, para este estudo, igual ou acima de 80% de saturação;

Ou não homogeneizar a amostra visando manter a estrutura original criada para evitar que a constante manipulação da amostra cause os empecilhos mencionados

anteriormente. Isso, porém, causará dificuldades quando a amostra estiver suficientemente úmida para se sustentar e os constantes furos para inserção dos sensores e leitura acabarão por alterar a estrutura original devido aos sulcos criados.

Neste estudo optou-se pela segunda opção mantendo uma boa variabilidade na amostra, porém sem causar alterações na umidade absorvida pela amostra entre a inserção dos sensores para calibração.

Como os sensores serão usados ao longo do cano na coleta de dados laboratorial, é necessário certificar-se que eles sejam suficientemente parecidos de modo que as leituras possam ser comparadas ao longo do perfil de solo. Realizar essa verificação na fase de calibração garante que os dados coletados nos diferentes níveis da coluna de solos possam ser comparados entre si já que se saberá de antemão que os sensores funcionam de modo análogo.

Um dos testes possíveis de se realizar é o teste de Tukey que compara todos os possíveis pares de médias e se baseia na diferença mínima significativa. Para ser realizado, as seguintes suposições devem ser verdadeiras:

- As observações são independentes dentro e fora dos grupos;
- Os grupos devem ser normalmente distribuídos;
- A variância dentro do grupo deve ser constante.

Utilizou-se o teste de Shapiro-Wilk para verificar se os valores de leitura eram normalmente distribuídos, porém para todos os níveis de saturação e texturas a distribuição foi classificada como não normalmente distribuída. Sendo assim, utilizou-se um teste não-paramétrico para verificar se as leituras possuíam funções de distribuição iguais.

A tabela 3 mostra o p-valor resultante do teste de Kruskal para os diversos níveis de saturação e solos. Valores menores que um nível de significância de 5% resulta em rejeição da hipótese zero, de que não há diferença significativa entre os sensores.

Tabela 3: O p-valor resultante do teste de Kruskal para os diversos níveis de saturação e solos

	0	20-40-60-80-100
MA	0,01561	2,2e-16
Argilosa	0,1715	2,2e-16
Média	2,01e-06	2,2e-16

Fonte: Os autores

Nota-se que somente a 0% de saturação e para a textura argilosa os sensores são semelhantes. Porém deve-se notar que para o nível zero de saturação os pontos considerados discrepantes foram os maiores que 1 para essas texturas e, portanto, essa semelhança era esperada.

Considerando a diferença entre as leituras obtidas pelos sensores na grande maioria dos níveis de saturação e texturas, a coleta de dados no cano utilizará as médias de leituras para os cálculos seguintes. Embora durante o processo de calibração notou-se que os valores de desvio padrão e desvio médio das leituras para cada nível de calibração e sensor e na mesma repetição, mantiveram-se abaixo de 9% e 5% respectivamente, melhorando conforme o nível de umidade medido, chegando a menos de 5% e 3% respectivamente. Considerando o custo para sua construção, para níveis de saturação acima de 25% para as texturas argilosa e média é de 30% para a textura muito argilosa, os sensores apresentaram valores satisfatórios de leitura.

Devido aos valores dos sensores de umidade do solo serem afetados pelos diversos fatores mencionados anteriormente, optou-se por, nesse estudo, utilizar as médias das leituras de modo a prover uma curva de calibração que representasse o nível de umidade do solo lido, mas sem desconsiderar os fatores atuantes dos substratos analisados. Também se optou por realizar a calibração dos sensores de umidade de solo com base em porcentagens do nível máximo de saturação, considerando que durante a coleta de dados no cano a umidade provavelmente se aproximará ao de saturação.

Utilizou-se o método padrão de estufa para validar a correlação entre a umidade obtida pelo método padrão e a leitura feita pelos sensores de umidade de

solo. Para cada amostra e nível de saturação do solo foram realizadas três medições para obtenção de uma possível função que representasse essa relação.

A tabela 4 ilustra os dados utilizados para obtenção da umidade da amostra utilizada pelo método padrão de estufa para os níveis de umidade relativos pretendidos de 100% de saturação.

Para se obter os 100% de saturação utilizou-se três recipientes plásticos de mesmo volume e dimensões para acomodar um quilo de solo. Pesou-se o recipiente para obter sua tara e um quilo de solo seco. Adicionou-se lentamente água até que o solo apresentasse aspecto de saturação com uma fina lâmina de água na superfície e superfície brilhante. Neste momento, média-se a quantidade restante de água da inicial, de 1 litro, e pesava-se o recipiente com o solo úmido.

Se no período de meia hora o solo permanecesse com o mesmo aspecto, o volume em mililitros utilizado era anotado para servir como referência para o necessário para atingir o nível de saturação desejado. Caso, nesse período, fosse necessário adicionar água, aguardava-se meia hora novamente.

Tabela 4: Tabela ilustrando as médias de umidade dos níveis de saturação obtidas pelo método padrão de estufa para as três texturas estudadas

Nível de saturação (%)	Muito argilosa (%)	Argilosa (%)	Média (%)
20	8,41	8,76	5,49
40	16,05	14,17	11,43
60	22,13	22,01	16,27
80	32,13	30,08	24,27
100	39,53	42,1	29,76

Fonte: Os autores

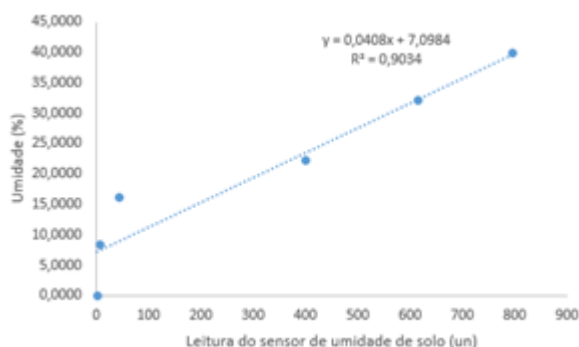
Na tabela 4 encontram-se as médias dos valores lidos para cada nível percentual de umidade e suas respectivas curvas de calibração para as três texturas analisadas: muito argilosa, argilosa e média. Os valores médios de porcentagem de umidade foram obtidos pela média da porcentagem de umidade das amostras

extraídas quando da calibração dos sensores e a média das leituras dos sensores pelo valor médio lido pelos sensores em cada faixa de umidade.

As figuras 10 a 12 ilustram as linhas de tendência geradas pela média dos valores lidos pelos sensores de umidade aos níveis de 0, 20, 40, 60, 80 e 100% de saturação (eixo X) e a umidade obtida pelo método padrão de estufa para os mesmos níveis (eixo y) para cada textura de solo estudada.

A figura 10 mostra a linha de tendência para a textura muito argilosa como sendo linear e tendo R2, coeficiente de determinação, bastante alto, 0,9034, e, coeficiente de correlação, 0,9504, indicando uma forte correlação positiva apesar de sua equação ($0,0408x + 7,0984$) subestimar valores perto de 15% de umidade e superestimar valores perto de 25% de umidade. As leituras para os outros níveis de umidade fornecem valores perto dos reais obtidos por método padrão de estufa.

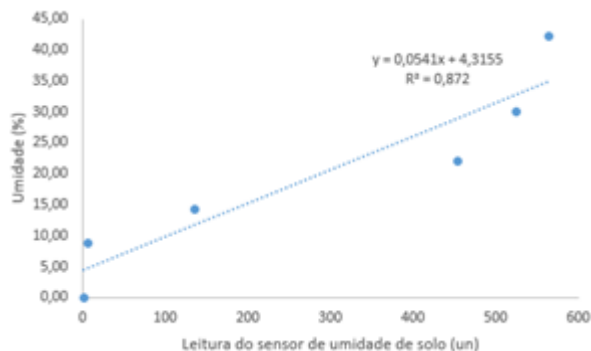
Figura 10: Gráfico de dispersão dos sensores para a textura muito argilosa e sua respectiva equação linear obtida em laboratório



Fonte: Os autores

Embora a linha de tendência obtida para a textura argilosa, ilustrada na figura 11, tenha tido um R2 alto, 0,8692, e forte coeficiente de correlação positiva, de 0,9338, a equação obtida superestima os valores de umidade para as leituras feitas para os níveis de saturação de umidade de 20, 40 e 100% e subestima para 60 e 80%.

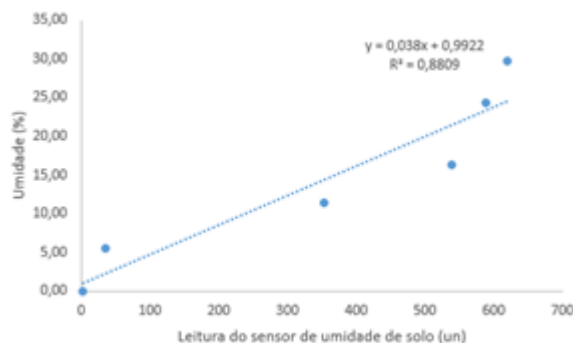
Figura 11: Gráfico de dispersão dos sensores de umidade de solo com sua respectiva equação linear, obtida em laboratório, para a textura argilosa



Fonte: Os autores

De modo similar a linha de tendência da textura argilosa, a equação obtida pela linha de tendência para a textura média e ilustrada na figura 12 tende a superestimar as porcentagens de umidade para os níveis de saturação de 20, 80 e 100 e subestimar os níveis 40 e 60.

Figura 12: Gráfico de dispersão dos sensores de umidade do solo com suas respectivas equações lineares, obtida em laboratório, para a textura média



Fonte: Os autores

Nota-se que os valores de R2 para as três texturas foram elevados, apresentando valores de 0,9034 para a muito argilosa, 0,8692 para a argilosa, e 0,8809 para a média. Outras linhas de tendência foram testadas e embora também tenham resultado em R2 altos, as linhas mostradas resultaram em coeficientes de determinação (R2) superiores.

4. CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi apresentar o desenvolvimento e calibração de uma solução IoT para medição de infiltração e retenção hídrica nos três solos estudados. Não foi encontrada alteração nas medições na umidade e temperatura (entre 22 e 26°C) ambientes quando da calibração.

O ambiente de desenvolvimento utilizado não apresentou problemas durante o período de testes, mostrando-se uma alternativa interessante para desenvolvimento de aplicações IoT variadas.

As leituras obtidas com os sensores de umidade de solo foram imprecisas, porém aceitáveis especialmente considerando o custo de sua fabricação, por volta de 5 reais a unidade.

A solução implementada mostrou-se bastante estável já que não foi necessária intervenção no período de calibração.

REFERÊNCIAS

MITTELBACH, H., Lehner, I., Seneviratne, S.I., 2012. Comparison of four moisture sensor types under field conditions in Switzerland. *Journal of Hydrology* 430-431, 39-49. Skill in streamflow forecasts derived from large-scale estimates of soil moisture and snow. *Nat. Geosci.* 3 (9), 613–616.

SENEVIRATNE, S.I., Corti, T., Davin, E., Hirschi, M., Jaeger, E.B., Lehner, I., Orlowsky, B., Teuling, A.J., 2010. Investigating soil moisture-climate interactions in a changing climate. *Earth-Sci. Rev.* 99 (3–4), 125–161.

Agência Nacional das Águas - ANA, Relatório da ANA apresenta situação das águas do Brasil no de crise hídrica. Disponível em: <http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/noticias/relatorio-da-ana-apresenta-situacao-das-aguas-do-brasil-no-contexto-de-crise-hidrica>. Acesso em: 20 fevereiro 2019

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Projeções do agronegócio Brasil 2011 2012 a 2021 2022 síntese. 2012. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/projecoes-do-agronegocio-brasil-2011-2012-a-2021-2022-sintese.pdf>. Acesso em: 27 maio 2018

MANTOVANI et al, Irrigação: princípios e métodos, 3ª edição, 2009
SILVA, C. R.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SOUZA, C. F. Aspectos práticos na utilização da técnica de capacitância: desafios e aprendizagem. *Aplicações de Técnicas eletromagnéticas para o monitoramento ambiental*, v. 1, p. 25-45, 2008

PIZETTA, S. C. Calibração de sensores de capacitância (FDR) para estimativa da umidade em diferentes solos. Universidade Federal de Lavras, 2015.

KINZLI, K.; MANANA, N.; OAD, R. A comparison of laboratory and field calibration of a soil moisture capacitance probe for various soils. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v. 138, n. 4, p. 310-321, 2012.

SPELMAN, D.; KINZIL, K-D.; KUNBERGER, T. Calibration of the 10HS Soil Moisture Sensor for Southwest Florida Agricultural Soils. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v. 139, n. 12, p. 965-971, 2013.

PREVEDELLO, C.L., LOYOLA, J.M.T., Modelagem numérica para o processo da evaporação da água do solo, *Revista Brasileira de Ciência de solo*, 29:669-675, 2005

CAPÍTULO 07

ANÁLISE DE HARMÔNICAS E SUA INFLUÊNCIA NAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DA ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA DA UEA

Sthefany do Socorro Souza da Silva

Laboratório de Sistemas Embarcados. Escola Superior de Tecnologia.
Universidade do Estado do Amazonas. Manaus, Brasil
E-mail: sdssds.eng19@uea.edu.br

Israel Gondres Torné

Laboratório de Sistemas Embarcados. Escola Superior de Tecnologia.
Universidade do Estado do Amazonas. Manaus, Brasil
E-mail: itorne@uea.edu.br

Fábio de Sousa Cardoso

Laboratório de Sistemas Embarcados. Escola Superior de Tecnologia.
Universidade do Estado do Amazonas. Manaus, Brasil
E-mail: fcardoso@uea.edu.br

Angilberto Muniz Ferreira Sobrinho

Laboratório de Sistemas Embarcados. Escola Superior de Tecnologia.
Universidade do Estado do Amazonas. Manaus, Brasil
E-mail: asobrinho@uea.edu.br

Rubens de Andrade Fernandes

Laboratório de Sistemas Embarcados. Escola Superior de Tecnologia.
Universidade do Estado do Amazonas. Manaus, Brasil
E-mail: rdafr.eng@uea.edu.br

Heitor Lifstitch Nogueira da Silva

Laboratório de Sistemas Embarcados. Escola Superior de Tecnologia.
Universidade do Estado do Amazonas. Manaus, Brasil
E-mail: hlms.eng@uea.edu.br

André Luiz Printes

Laboratório de Sistemas Embarcados. Escola Superior de Tecnologia.
Universidade do Estado do Amazonas. Manaus, Brasil
E-mail: aprintes@uea.edu.br

Raimundo Cláudio Souza Gomes

Laboratório de Sistemas Embarcados. Escola Superior de Tecnologia.
Universidade do Estado do Amazonas. Manaus, Brasil
E-mail: rclaudio.gomes@gmail.com

Resumo: As harmônicas são elementos de caráter senoidal de diferentes frequências. A presença desses componentes pode provocar distorções prejudiciais para muitos sistemas, como é o caso dos sinais distorcidos de tensão e corrente elétrica encontrados nos sistemas de energia. Dessa forma, este trabalho tem como

objetivo identificar e estudar a influência das harmônicas nas instalações elétricas, baseando-se em medições realizadas da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas. Serão analisados os parâmetros de tensão, corrente, consumo energético e harmônicas em um determinado tempo de medição, utilizando um analisador de energia. Os resultados preliminares apresentam a existência de componentes harmônicas no local, tanto para tensão quanto para corrente elétrica. As harmônicas de tensão existem em níveis não prejudiciais, embora seja necessário mitigar as harmônicas de corrente a fim de reduzir parte dos componentes presentes e melhorar o fator de potência obtido. Todos os índices foram definidos a partir das normas da Agência Nacional de Energia Elétrica e IEEE.

Palavras-chave: Harmônicas; Qualidade; Eficiência energética.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, através da Lei de Eficiência Energética sancionada em 2001 [1], a preocupação com a qualidade e eficiência de energia tornou-se parte do cotidiano de muitas empresas e repartições. Com isso, o assunto seguiu em debate e normas para índices de eficiência energética foram definidas para melhorar os níveis recomendados por este tema. E, apesar de boa parte dos estudos e debates voltarem-se para grandes consumidores, os pequenos e médios consumidores estão cada vez mais preocupados com esta temática e com a eficiência energética.

Na indústria, por exemplo, a presença de cargas não lineares contribui para redução dos indicadores de qualidade de energia, bem como de alguns parâmetros de eficiência energética. Com o avanço tecnológico, as cargas não lineares difundiram-se em prédios comerciais e residências, a partir do advento de novos equipamentos eletroeletrônicos e eletrodomésticos que possuem semicondutores, como transistores e diodos, em sua estrutura [2]. Portanto, contribui-se cada vez mais para redução das características senoidais dos parâmetros de tensão e corrente elétrica no setor elétrico. Além disso, isto provoca consequências como superaquecimento e o aumento do consumo de energia [3]. A identificação dessas oscilações harmônicas é, então, um ponto crucial para tratar dos problemas de eficiência energética e melhorar a qualidade da energia elétrica.

Esse processo de identificação torna-se cada vez mais viável com o uso de analisadores de energia nos pontos de consumo, que possibilitam identificar e estudar as harmônicas presentes. Os estudos de oscilações harmônicas se concentram em avaliar os efeitos das cargas não lineares e suas situações de distorções. Para isso, os equipamentos de análise podem monitorar as harmônicas do sinal e detectar se há existência de sobrecorrentes ou sobretensões naquele sistema. Outro método de análise é o estudo do fator de potência, que possui uma unidade adimensional e tem o valor ideal entre 0,92 e 1 [4]. Se este valor está fora das normas determinadas como ideais, é possível que existam distorções harmônicas no sistema.

Assim sendo, o estudo de caso proposto tem foco no sistema de energia da Escola Superior de Tecnologia (EST) da Universidade do Estado do Amazonas (UEA). E para realizar a análise desse sistema, observou-se as taxas de Distorção Harmônica Total (THD, em inglês) [5] e sua influência sobre a tensão, corrente e fator de potência [6]. Dessa forma, objetiva-se apresentar resultados preliminares da pesquisa em

andamento. Nas seções II-IV, mostra-se o Estado da Arte que embasa essa pesquisa. A seção V detalha o sistema elétrico analisado e a seção VI descreve a metodologia utilizada para o desenvolvimento da pesquisa. Os resultados obtidos e as conclusões serão expostos, respectivamente, nas seções VII e VIII.

2. QUALIDADE DE ENERGIA

A qualidade de energia elétrica é o termo que define melhores formas de uso para este ativo [7]. Nesse sentido, os consumidores, junto aos agentes fornecedores, possuem responsabilidades para viabilizá-la. A análise de qualidade de energia, por sua vez, é normalizada por diversas recomendações técnicas. No Brasil, esta normatização é apresentada pelo PRODIST, Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional, aprovado pela Agência Nacional de Energia Elétrica em 2008. Essa resolução detalha os aspectos que devem ser respeitados e seguidos, como a distribuição e as unidades consumidoras. Sendo assim, a energia elétrica pode ser analisada observando os seguintes fenômenos: tensão, índice de harmônicos, fator de potência, interrupções de fornecimento, entre outros [8].

Os problemas que afetam a Qualidade de Energia são diversos, onde cada fenômeno observado pode acarretar problemas distintos. As cargas não lineares, por exemplo, causam distorções harmônicas. Altas frequências podem produzir ruídos. Ainda, variações de cargas podem causar flutuação de tensão e curtos-circuitos podem causar subtensão [9]. Esses problemas afetam tanto ao consumidor quanto ao fornecedor de energia elétrica. De forma material, estes prejuízos associam-se principalmente à vida útil de transformadores e equipamentos eletrônicos. Os prejuízos financeiros, por sua vez, se relacionam com os custos excedidos devido às interrupções no fornecimento de energia e as multas por descumprimento da normativa supracitada. Portanto, o primeiro passo para tratar esses problemas é analisar as grandezas relacionadas à qualidade de energia e, posteriormente, considerar a melhor intervenção para cada caso.

3. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Desde a década de 1980, com o aumento da conscientização sobre o desperdício de energia elétrica, o termo eficiência energética se tornou o principal foco das discussões sobre conservação de energia. Além do desperdício, a principal preocupação está na qualidade de energia, citada anteriormente. Os problemas de eficiência energética podem, nesse sentido, se relacionar com características de funcionamento de equipamentos e o seu comportamento perante a distúrbios elétricos, por exemplo.

Para solucionar esses problemas, práticas e políticas voltadas para a solução dos problemas de eficiência energética baseiam-se em redução de custos e em otimização na locação de recursos energéticos. Em 1985, foi instituído o Programa Nacional de Conservação de Energia (PROCEL). O PROCEL, atualmente, coordena programas voltados para a indústria e o poder público, como iluminação urbana e conscientização para eficiência energética.

Ainda, o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf), criado em 2011, descreve outras ações desenvolvidas para incentivar a conservação de energia, voltadas para a área de transporte, educação e saneamento. Suas práticas envolvem a criação de mecanismos que empreendedores podem consultar e contratar, além de propostas de otimização e uso consciente de energia.

Em 2013, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estabeleceu as normas do Programa de Eficiência Energética (PROPEE), que definem que as concessionárias de energia elétrica devem disponibilizar 0,5% de sua receita para o financiamento de projetos na área nos setores público, privado e para clientes de baixa renda. O programa tem como finalidade o uso racional de energia em diversas vertentes, utilizando chamadas públicas de projetos que receberão o investimento necessário para a sua implementação [10].

4. HARMÔNICAS

Harmônicas são componentes de tensão ou corrente que possuem uma frequência diferente da frequência fundamental, causando alteração no comportamento das ondas senoidais [11]. A origem das distorções harmônicas provém das cargas não lineares presentes em dispositivos eletrônicos, resultando em uma relação não linear entre corrente e tensão.

As harmônicas podem ser divididas através de seus múltiplos, divididos em pares e ímpares. Assim, para cada múltiplo a harmônica possui um índice que facilita a sua identificação. Geralmente, para a análise, consideramos apenas as harmônicas de ordem ímpar, uma vez que harmônicas de ordem par aparecem na presença de componentes contínuos. Ainda, para a sua representação clássica utiliza-se a série de Fourier, que possibilita identificar o grau de distorção da onda analisada. [12].

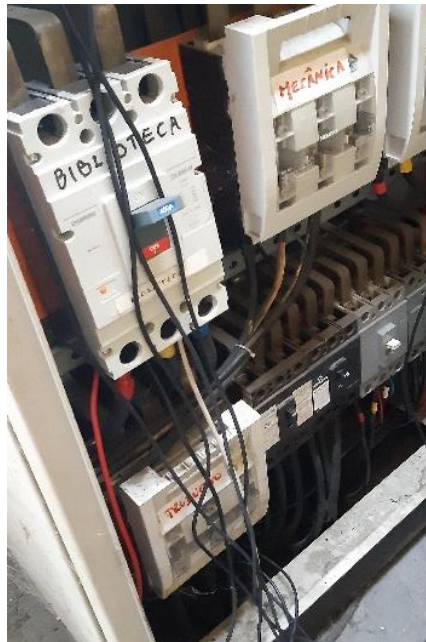
As consequências dessas distorções estão diretamente ligadas à qualidade de energia e eficiência energética. Os problemas são diversos e estão ligados, novamente, à presença de cargas não lineares. São eles, por exemplo: surgimento de ruídos, sobreaquecimento de equipamentos, interferência em medidores de grandezas elétricas provocando erros de medição, sobrecorrentes de neutro e interferências eletromagnéticas. Todos esses problemas podem influenciar, além da qualidade de energia, no prejuízo financeiro dos consumidores [13].

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Para realizar o estudo acerca das harmônicas, a unidade de tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas serviu como base para obtenção dos dados necessários. Para isso, foi observado o comportamento de energia em determinados blocos do *campus*. Para realizar as medições e coleta de dados, foi utilizado um analisador de energia, modelo Fluke 434 série II, em um dos quadros gerais de energia do prédio. O analisador mediu os parâmetros de corrente, tensão e potência, além de coletar as frequências e índices de harmônicas. Os dados foram exportados a partir de um sistema de visualização de dados do próprio analisador de energia.

O Analisador de energia foi instalado nas fases e neutro do barramento do circuito geral do transformador 1, de 380V, que alimenta os blocos de Engenharia Civil, Engenharia de Produção, Engenharia Mecânica e a biblioteca, como mostram a Figura 1 e a Figura 2. O analisador de energia permaneceu conectado por 1 semana, durante as atividades comuns do *campus* de tecnologia. O início das medições se deu a partir das 10h da manhã do dia 11 de maio de 2021 e terminou no dia 18 de maio de 2021. A análise dos dados foi realizada através do *software* PowerLog do próprio equipamento.

Figura 1: Medição das grandezas elétricas



Fonte: Os autores

Figura 2: Analisador de energia conectado ao quadro geral



Fonte: Os autores

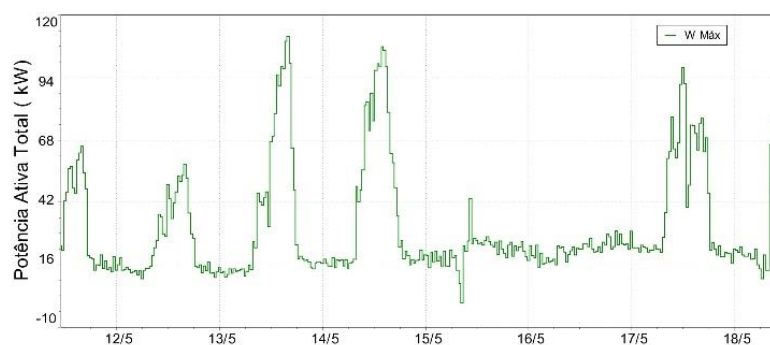
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As medições na EST foram feitas por uma semana, medindo 24 horas de consumo e diversas grandezas elétricas. Os dados foram agrupados em dias para otimizar a análise. A primeira análise feita foi a de consumo, que foi realizada

observando os valores de potência ativa máxima medida no período estudado. A Figura 3 mostra o registro das quedas de consumo entre os dias 15 e 16 de Maio por se tratar de um fim de semana, quando as atividades no *campus* são menores.

Ainda na Figura 3 é possível observar a potência chegando próximo de zero, quando ocorreu um desligamento no transformador, que logo foi ativado novamente. Notou-se também um pico de consumo registrado naquela semana, nos dias 13 (quinta-feira), 14 (sexta-feira) e 17 (segunda-feira), logo após o horário de almoço onde todas as atividades estavam sendo retomadas. Esses são os dias com atividades na universidade. É notável observar os menores consumos de energia pela parte da noite e no dia 16 (domingo), quando há redução nas atividades.

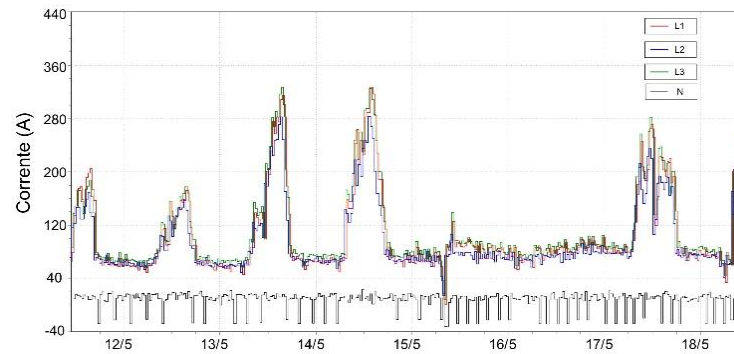
Figura 3: Registro de consumo diário em uma semana



Fonte: Os autores

Para observar os índices de harmônicas, analisou-se os parâmetros de corrente e tensão. Geralmente, quando há presença de níveis de desequilíbrio no sistema de energia, os níveis de corrente de neutro são mais elevados. Percebeu-se então, através da figura 4, que não existem desequilíbrios relevantes, já que os níveis de corrente de neutro não estão acima dos níveis ilustrados nas fases L1, L2 e L3.

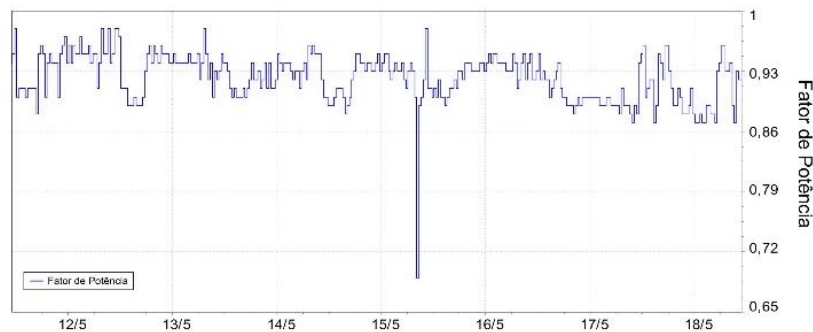
Figura 4: Corrente de fase e neutro medida no sistema elétrico



Fonte: Os autores

Outro ponto relevante ao consumo semanal analisado é o fator de potência, que deveria estar entre 0,92 e 1. Observando a figura 5 é possível notar que o sistema está, em sua maioria, fora do padrão ideal e oscilando entre os dias medidos. Pode-se associar às oscilações de fator de potência o fato de que os transformadores não recebem manutenção há algum tempo e a presença de maquinários e dispositivos de caráter não linear nas dependências da instituição.

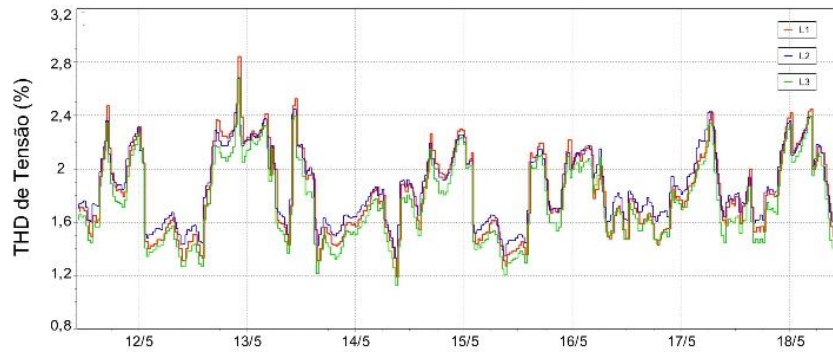
Figura 5: Fator de potência coletado



Fonte: Os autores

Em seguida, as harmônicas foram coletadas e observou-se o índice de distorção harmônica total (THD), tanto para tensão quanto para corrente. Os índices aceitáveis de harmônicas são recomendados pela norma internacional determinada pela IEEE Std., atualizada em 2014 [14]. As análises são feitas observando o sistema como um todo. Na Figura 6, colocou-se as harmônicas de tensão. O nível de distorção harmônica total permitido para sistemas de até 1kV é de 8%. Na figura 6 é possível observar que o nível máximo atingido foi de aproximadamente 2,8%, indicando que as harmônicas de tensão estão dentro das conformidades. Durante o fim de semana, quando se tem menos atividades na unidade, observa-se quedas nos índices de THD.

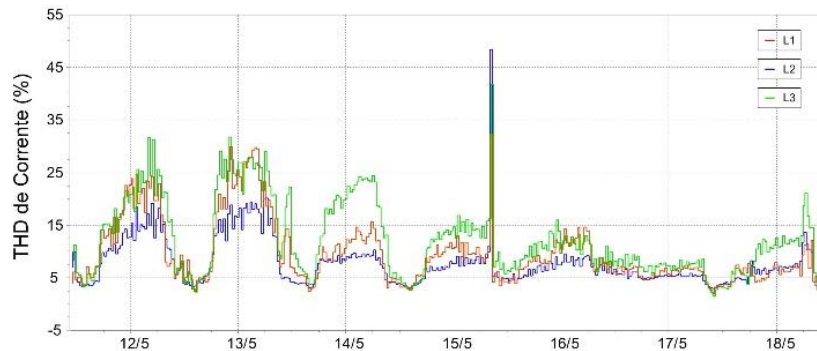
Figura 6: THD de tensão com seu pico de medição



Fonte: Os autores

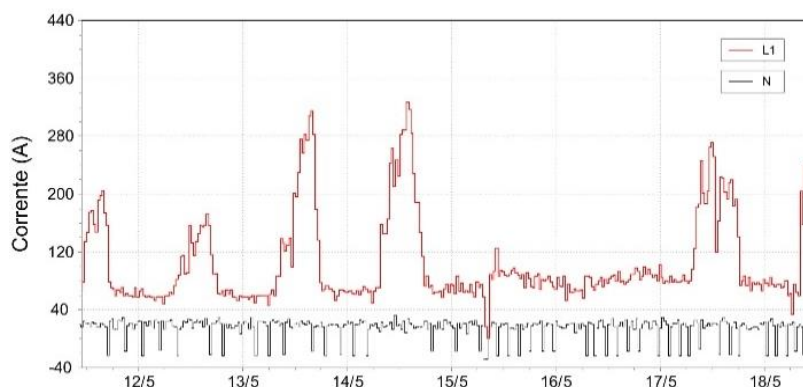
Em seguida, analisou-se as harmônicas de corrente. Na figura 7, observamos que o maior índice medido se aproximou de 45%. Durante o fim de semana, observa-se o maior índice de THD. A norma estabelece que o valor máximo para THD de corrente deve ser de 15% para sistemas de corrente entre 100 e 1000 amperes. Então, é visível que as harmônicas de corrente estão afetando o sistema. Um desses resultados pode ser observado na figura 8, onde ilustra-se a corrente na fase L1 em comparação com a corrente de neutro.

Figura 7: THD de corrente e seu pico medido



Fonte: Os autores

Figura 8: Comparação de correntes na fase L1 e neutro



Fonte: Os autores

7. CONCLUSÕES

Este trabalho propôs-se a apresentar resultados de dados parciais coletados em prol de um projeto de pesquisa em andamento para análise das harmônicas e da eficiência energética na Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas. Os dados parciais coletados no transformador 1 da unidade de tecnologia mostraram que o prédio possui índices de grandezas energéticas que necessitam de acompanhamento, sendo necessário atentar para os índices de harmônicas de corrente, que já se mostram prejudiciais.

Em suma, a análise dos dados apresentados mostra que as intervenções necessárias para corrigir possíveis problemas no sistema elétrico da Escola Superior de Tecnologia (EST) são grandes, uma vez que o índice de THD de corrente está fora do padrão. Mais especificamente, sugere-se a instalação de filtros ativos e passivos para reduzir as taxas de THD de corrente. Já os índices de THD de tensão estão dentro das normas definidas pela IEEE. Por fim, os índices de fator de potência requerem propostas de melhoria, podendo começar pela manutenção no sistema elétrico do *campus*.

Futuramente, para refinamento da pesquisa, é proposto que as medições sejam feitas nos outros transformadores da unidade para observar o comportamento do sistema elétrico da Escola Superior de Tecnologia como um todo, durante semanas de trabalho, ainda observando os índices de harmônicas totais, fator de potência e seu consumo final. Assim, é possível observar também os efeitos financeiros e propor melhorias a longo prazo.

Por fim, este trabalho servirá como embasamento para refinar as investigações futuras. A qualidade de energia e eficiência energética são de extrema importância para o benefício do consumidor e do próprio sistema elétrico. Pois, com os níveis adequados, existe a redução de consumo e tarifas, além do uso sustentável e consciente de energia.

REFERÊNCIAS

- [1] J. Haddad, “A Lei de Eficiência Energética e o Estabelecimento de Índices Mínimos de Eficiência Energética Para Equipamentos no Brasil”, Revista Brasileira de Energia, vol. 11, nº1, Rio de Janeiro, Janeiro, 2005.
- [2] G. S. Lacerda, “Análise da Influência de Cargas Não-Lineares em Dispositivos de Medição de Grandezas Elétricas”. 2016. Graduação – Engenharia de Controle e Automação, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016.
- [3] J. P. Scheurich, M. Fiorin, J. Pelegrin, T. Dequigiovani, “Análise da Eficiência e Qualidade Energética das Instalações Elétricas do Instituto Federal Catarinense – Campus Luzerna”, INDUSCON 2016 - 12th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications, Curitiba – PR, 2016.
- [4] A. L. Silva, D. Ibarola, M. J. R. Nóbrega, F. B. S. Martins, “Qualidade e Eficiência Energética Aplicada a Consumidor do Grupo A” em TEC-USU, p. 32-53, 2020.
- [5] R. Sinvula, K. M. Abo-Al-Ez e M. T. Khan, “Harmonic Source Detection Methods: A Systematic Literature Review”, IEEE Access, vol. 7, 2019.
- [6] F. G. Carvalho, “Caracterização do Conteúdo Harmônico em Ambientes Residenciais: Estudo de Caso”. 2015. Tese (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, 2015.
- [7] S. M. Deckmann, J. A. Pomilio, “Avaliação da Qualidade da Energia Elétrica”. 2020. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação – UNICAMP, 2020.
- [8] P. P. Silva, “Implementação de um medidor digital de qualidade da energia elétrica: análise de harmônicos e variações de tensão de longa duração”. 2017. Graduação – Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2017.
- [9] A. R. Manito, “Estimação das Parcelas de Contribuição de Cargas Não Lineares na Distorção Harmônica de Tensão de Um Barramento de Interesse do Sistema Elétrico de Potência Utilizando Rede Neural Artificial”. 2019. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Pará, 2019.
- [10] L. Altoé, J. M. Costa, D. O. Filho, F. J. R. Martinez, A. H. Ferrarez, L. A. Viana, “Políticas Públicas de Incentivo À Eficiência Energética”, Estud. av., vol.31, no.89, São Paulo Jan./Apr. 2017.
- [11] G. S. Atkinson, E. S. Pereira, M. F. Rodrigues “Harmônicas em Instalações Elétricas de Baixa Tensão: Causas e Efeitos dos Altos Índices de Distorções de Tensão e Corrente”, XXIV Seminário de Iniciação Científica, Injuí, 2016.
- [12] S. R. Moraes, “Análise das Distorções Harmônicas Causadas Por Uma Carga Não Linear e Sua Mitigação”. 2016. Graduação – Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.
- [13] G. T. de Azevedo, E. C. Romão, C. R. Menegatti, “Correção de Distorções Harmônicas em Sistemas Elétricos Através de Interferência Destrutiva”, Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 41, nº3, 2019.

[14] "IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems," in *IEEE Std 519-2014 (Revision of IEEE Std 519-1992)* , vol., no., pp.1-29, 11 June 2014.

CAPÍTULO 08

ADSORÇÃO SELETIVA DE CORANTES EM MATERIAIS HÍBRIDOS DA CLASSE SILOXANO-POLIÉTER

Álvaro Henrique de Oliveira Marinho

Bacharel em Química – Universidade de Franca-UNIFRAN

E-mail: alvarohenrique.ah554@gmail.com

Ricardo de Oliveira

Bacharel em Química – Universidade de Franca-UNIFRAN

E-mail: roliveria183@hotmail.com

Lílian Karla de Oliveira

Prof. Dr(a) do Instituto Federal de São Paulo, Campus Barretos; Especialista em Química Analítica

E-mail: l.koliveira@yahoo.com.br

Eduardo Ferreira Molina

Prof. Dr. da Universidade de Franca-UNIFRAN; Especialista em Físico-química

E-mail: eduardo.molina@unifran.edu.br

Resumo: Para entender a afinidade entre uma matriz híbrida e corantes aniônicos/catiônicos, foi preparado um material a base de uma poliéteramina e um organoalcoxissilano. Este material conhecido como siloxano-poliéter possui diferentes grupos funcionais em sua estrutura que podem atuar como sítios de adsorção de corantes em meio aquoso. O comportamento de adsorção do híbrido, denominado PEO1900, para dois corantes em meio aquoso foi estudado por espectroscopia UV-vis. Neste caso, o azul de metileno AM (catiônico) e o Orange II OII (aniônico) foram usados como corantes modelo. A metodologia sol-gel foi utilizada para a obtenção do híbrido PEO1900. O ensaio cinético utilizando a matriz PEO1900 e AM não mostrou afinidade pelas moléculas do corante. Por outro lado, utilizando uma solução de OII observou-se uma remoção eficiente do corante. Os resultados indicam que a concentração do corante no meio aquoso e os sítios ativos do adsorvente são determinantes no processo adsortivo e que o mecanismo predominante na adsorção é a quimissorção. O material híbrido siloxano-poliéter (PEO1900) é uma grande promessa para a separação inteligente de corantes em meio aquoso, com potenciais aplicações no tratamento de água.

Palavras-chave: Azul de metileno; Orange II; Intumescimento.

Abstract: To understand the affinity between a hybrid matrix and anionic/cationic dyes, a material was prepared based on a polyetheramine and an organoalkoxysilane. This material known as siloxane-polyether has different functional groups in its structure that can act as adsorption sites for dyes in an aqueous medium. The adsorption behavior of the hybrid, denominated PEO1900, for two dyes in aqueous medium was studied by UV-vis spectroscopy. In this case, the methylene blue AM (cationic) and Orange II OII (anionic) were used as dye models. The sol-gel methodology was used to obtain PEO1900 hybrid. The kinetic

assay using the AM and PEO1900 matrix showed not affinity by dye molecules. On the other hand, using an OII solution an efficient removal of this dye was observed. The results indicate that the concentration of the dye in the aqueous medium and the adsorbent actives sites are determinant in the adsorptive process and, that the predominant mechanism in the adsorption is the chemisorption. The siloxane-polyether hybrid material (PEO1900) holds great promise for the intelligent separation of dyes in aqueous medium, with potential applications in water treatment.

Keywords: Methylene blue, Orange II, Swelling.

1. INTRODUÇÃO

Corantes são amplamente aplicados nas indústrias têxtil, cosmética, de papel, tintas e alimentos gerando efluentes com cor e alta concentração de contaminantes orgânicos e inorgânicos. A presença destes compostos em corpos aquáticos, mesmo que em baixas concentrações, é altamente visível e indesejável. Em organismos vivos, alguns corantes podem produzir aminas aromáticas carcinogênicas e mutagênicas dentro dos processos metabólicos. Estima-se que 10-15 % do total de corante utilizado nos processos industriais se perde no efluente.¹⁻³

Dentre as classes de corantes mais utilizadas nas indústrias podemos citar os azo-corantes. Estes compostos, constituídos por uma ligação azo ($-N=N-$), são resistentes a decomposição térmica, biodegradação, fotodegradação e oxidação química.^{4,5} O corante alaranjando II, também conhecido como Orange II (OII), é um azo-corante altamente tóxico e carcinogênico, sendo importante buscar alternativas viáveis para remover desta espécie dos sistemas aquáticos.

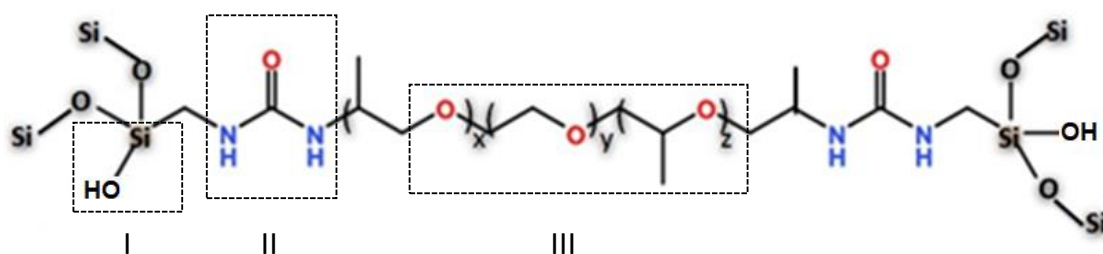
Diferentes métodos são aplicados na remoção de corantes dos efluentes industriais, sendo os principais floculação, adsorção, oxidação, coagulação, ozonização catalítica.⁴ Processos adsortivos utilizando argilas, géis poliméricos, compostos orgânicos-inorgânicos e materiais a base de carbono são bastante explorados e citados na literatura.^{6,7}

Na busca por formas alternativas, com menor custo e mais eficientes no tratamento de efluentes industriais abre-se oportunidades para desenvolvimento de novos materiais com o objetivo de substituir aqueles usuais como o carvão ativado, zeólitas, argilas minerais e microrganismos adsorventes. [10-13]. Além disso, estes materiais apresentam uma limitação por não serem seletivos durante o processo de adsorção. Assim sendo, com a finalidade de desenvolver novas alternativas para a remoção destes contaminantes em meio aquoso, neste trabalho foi proposto a utilização de um material baseado em siloxano-poliéter para a adsorção do um corante aniônico alaranjado II (OII) e do corante catiônico azul de metileno (AM).

Os materiais híbridos denominados siloxano-poliéter vem sendo explorados como materiais multifuncionais tanto pela academia como pela indústria, e aplicados em diversas áreas tais como médica, óptica e ambiental.⁸⁻¹⁰ Esta multifuncionalidade esta relacionada aos possíveis sítios de coordenação presentes nos híbridos siloxano-poliéter como i) silanóis remanescentes da hidrólise durante processo sol-gel, ii)

oxigênios da carbonila provenientes do grupo uréia localizados na extremidade da cadeia polimérica, e iii) oxigênios do tipo éter da cadeia polimérica.⁸ Além disso, estes materiais híbridos apresentam propriedades como transparência, resistência mecânica, flexibilidade e são insolúveis em meio aquoso.⁹ Estas propriedades são provenientes da junção entre as fases orgânica e inorgânica por meio de ligações covalentes (classificados como híbridos de classe II). A Figura 1 mostra os possíveis sítios de coordenação dos híbridos siloxano-poliéter.

Figura 1: Fórmula molecular do híbrido siloxano-poliéter com possíveis sítios de coordenação: (I) silanóis, (II) oxigênios da carbonila e (III) oxigênios do tipo éter da cadeia polimérica.



Fonte: Os autores

A possibilidade de direcionar as interações entre a matrix híbrida siloxano-poliéter e espécies catiônicas e aniônicas é bastante interessante, pois abre novas perspectivas para modular a eficiência de adsorção de corantes em solução aquosa. Assim, este trabalho mostra pela primeira vez o uso da matrix siloxano-poliéter PEO1900 como seletivos adsorventes para tratamento de águas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MATERIAL

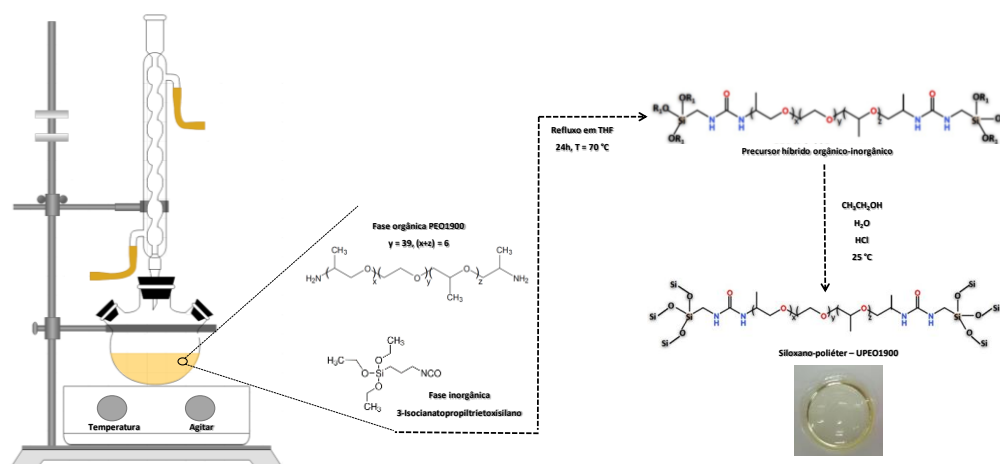
Foram utilizados reagentes com alto grau de pureza e solventes P.A., adquiridos de fontes comerciais (Sigma-Aldrich, Fluka, Huntsman, Synth, Vetec). Os reagentes usados para as sínteses dos sistemas híbridos foram: O,O'- bis(2-aminopropil)-poli(etileno óxido) ou Jeffamine[®] ED-1900 (Huntsman), 3-isocianatopropil trietoxissilano-ISOTREOS (Sigma-Aldrich), Tetrahidrofurano, 99,9% (Sigma-Aldrich), Etanol anidro (Sigma-Aldrich), Ácido clorídrico, 37% (Vetec), Água

(Milli-Q). Os reagentes para os ensaios de adsorção foram: alaranjado II (OII) e azul de metileno (AM) da Sigma Aldrich.

2.2 SÍNTESE DO HÍBRIDO SILOXANO-POLIÉTER (PEO1900)

As matrizes híbridas a base de siloxano-poliéter foram preparados usando o procedimento relatado na literatura.⁸⁻¹⁰ A primeira etapa de síntese consistiu na reação entre os grupos terminais amina da fase orgânica PEO e o grupo isocianato da fase inorgânica ISOTREOS para a formação do precursor híbrido siloxano-poliéter. A razão molar entre PEO:ISOTREOS foi de 1:2. Estes reagentes (PEO e IOSTREOS) foram solubilizados em THF, sob aquecimento a 70 °C por um período de 24 horas. Em seguida, o THF foi eliminado por rota-evaporação a 60 °C para obtenção do precursor híbrido. Este procedimento foi realizado para o PEO, de massa molar média de 1900 g mol⁻¹. A segunda etapa teve como princípio o processo sol-gel realizado a temperatura ambiente. Este estágio foi realizado em um único recipiente e consistiu de etapas reacionais de hidrólises e condensação nas porções silanois, - (SiOCH₂CH₃)₂ para obtenção dos nós reticulados de siloxano. Esta reação foi iniciada com a adição de uma mistura de 3 mL de água/ etanol (0,03 V/V) contendo 110 mg Kg⁻¹ de HCl para 1,5 g de precursor (Figura 2). Ao final do processo, monolitos cilíndricos dos xerogéis foram obtidos após a secagem sob vácuo durante 24 horas a temperatura ambiente. A Figura 2 apresenta um esquema da rota de síntese do híbrido siloxano-poliéter.

Figura 2: Esquema do procedimento de síntese do híbrido siloxano-poliéter



Fonte: Os autores

2.3 CARACTERIZAÇÃO POR ESPECTROSCOPIA NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO

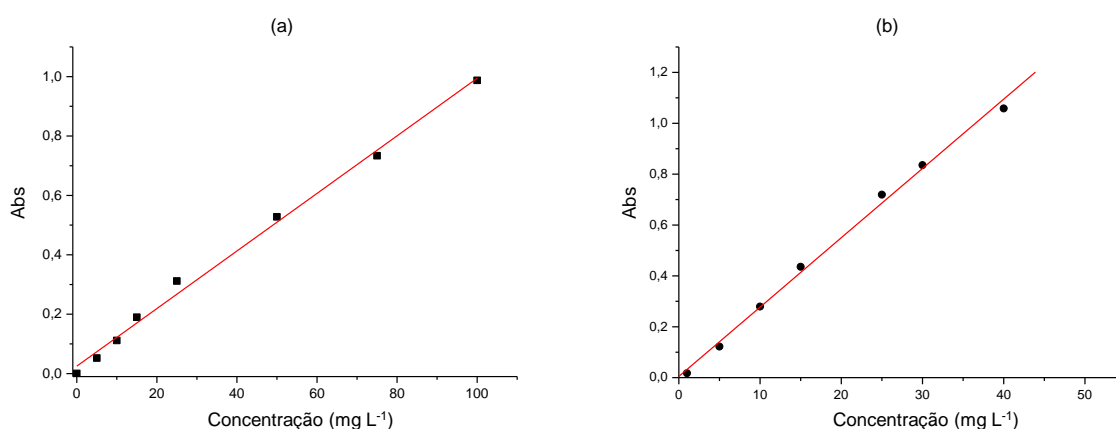
Os espectros foram obtidos por reflectância total atenuada (ATR) utilizando um equipamento PerkinElmer FT-IR Spectrometer Frontier. Amostras dos híbridos (monolitos) com espessura média de 3 mm foram submetidas ao intervalo de número de onda de 2000 à 700 cm^{-1} , resolução de 4 cm^{-1} e 32 varreduras.

2.4 ENSAIO DE ADSORÇÃO DOS CORANTES (UV-VIS)

Os estudos de adsorção foram feitos *in situ* à 25°C ($\pm 0,5$ °C) sob agitação constante. A concentração do corante no meio aquoso foi determinada por espectroscopia na região do UV-vis em um equipamento Agilent CARY 60 acoplado com fibra ótica de imersão. Os dados foram coletados na faixa de 200-800 nm e resolução de 600 nm^{-1} , permitindo a coleta de um espectro a cada intervalo de tempo pré-determinado.

Para construção da curva de calibração utilizou-se a faixa de concentrações de 0-100 mg L^{-1} para o OII e 0-40 mg L^{-1} para o AM. As diferentes soluções foram quantificadas em comprimentos de ondas máximos ($\lambda_{\text{máx}}$), sendo os valores $\lambda_{\text{máx}} = 482$ nm e $\lambda_{\text{máx}} = 665$ nm utilizados para OII e AM, respectivamente. As Figuras 3a e 3b mostram as curvas de calibração obtidas para o OII e AM.

Figura 3: Curva de calibração para o corante (a) OII e (b) AM



Fonte: Os autores

Testes iniciais foram feitos utilizando os corantes AM e OII. Os ensaios com o corante AM tiveram duração de 48 horas, sendo utilizado 0,4 g de PEO1900 e uma solução de corante à 60 mg L⁻¹. Testes entre OII e PEO1900 foram feitos com uma solução de corante à 100 mg L⁻¹ e 0,4 g de adsorvente, onde adsorvato e adsorvente foram mantidos em contato durante 24 horas.

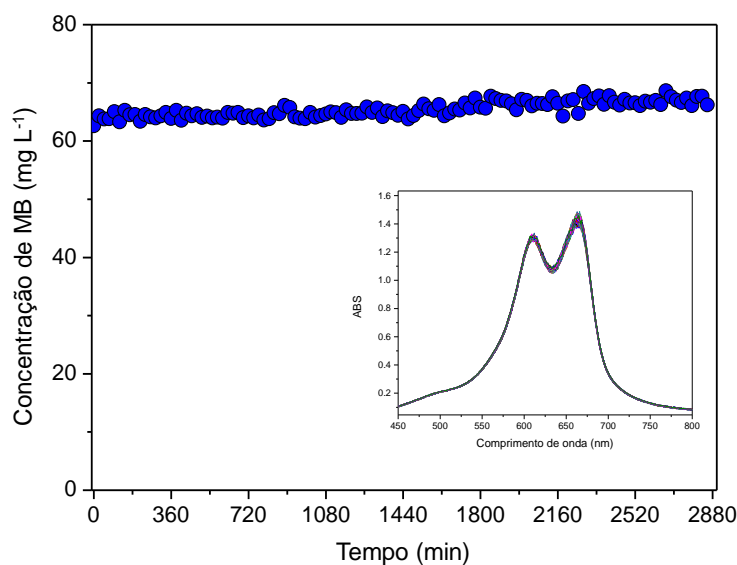
Nos experimentos de cinética de adsorção, uma quantidade do adsorvente PEO1900 (50, 100 ou 150 mg) foi adicionada à 30 mL de uma solução aquosa do corante à 100 mg L⁻¹. O sistema foi mantido sob agitação constante e a temperatura ambiente durante 12 horas. Espectros de absorção na região do UV-vis foram obtidos a cada 12 minutos.

Os experimentos de equilíbrio de adsorção foram feitos à 25 °C. Nos ensaios, 30 mL de solução de OII na faixa de concentração de 10-100 mg L⁻¹ foram adicionados a um béquer de 50 mL. Em seguida, 50 mg de PEO1900 foram adicionados a solução. A solução de OII e o híbrido foram mantidos em contato por 12 horas. Após esse intervalo, a concentração remanescente de OII foi determinada por espectroscopia na região do UV-vis.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o intuito de avaliar a afinidade entre diferentes corantes e o híbrido PEO1900, testes iniciais foram feitos utilizando os corantes: azul de metileno (AM/ catiônico) e alaranjado II (OII/ aniônico). A Figura 4 apresenta os resultados do teste de afinidade entre o AM e o PEO1900 utilizando 0,4 g de híbrido e uma solução de corante de ~ 60 mg L⁻¹. A solução de AM e o híbrido foram mantidos em contato à temperatura ambiente durante 48 h (2880 minutos). Observou-se que a concentração de AM manteve-se constante durante o tempo de contato com a amostra PEO1900, evidenciando a ausência de afinidade da matrix com a espécie catiônica. O *inset* da Figura 4 corrobora com a afirmação, onde não foram observadas alterações nas principais bandas do AM em 613 nm e 665 nm.

Figura 4: Espectro de absorção na região do UV-vis das soluções de AM antes e após contato de 48h



Fonte: Os autores

Os testes com o corante aniônico foram feitos utilizando uma solução de 100 mg L⁻¹ de OII e 0,4 g de adsorvente. Na Figura 5a estão apresentadas fotografias da solução inicial de OII e após 24 h de contato com a membrana de PEO1900. É possível verificar uma descoloração na solução de OII após o contato com o PEO1900, indicando uma elevada afinidade entre o adsorvato e adsorvente. A Figura 5b mostra a membrana antes e após o ensaio de afinidade, onde podemos observar alterações no tamanho e na coloração da membrana. A alteração na coloração aponta a transferência do corante OII do meio aquoso para a membrana. Já o aumento no diâmetro, conhecido como intumescimento, ocorre devido a absorção de água pela matrix. Este processo é responsável pela difusão das moléculas de corante e um dos responsáveis pela eficácia no processo adsorptivo do OII pela membrana PEO1900.

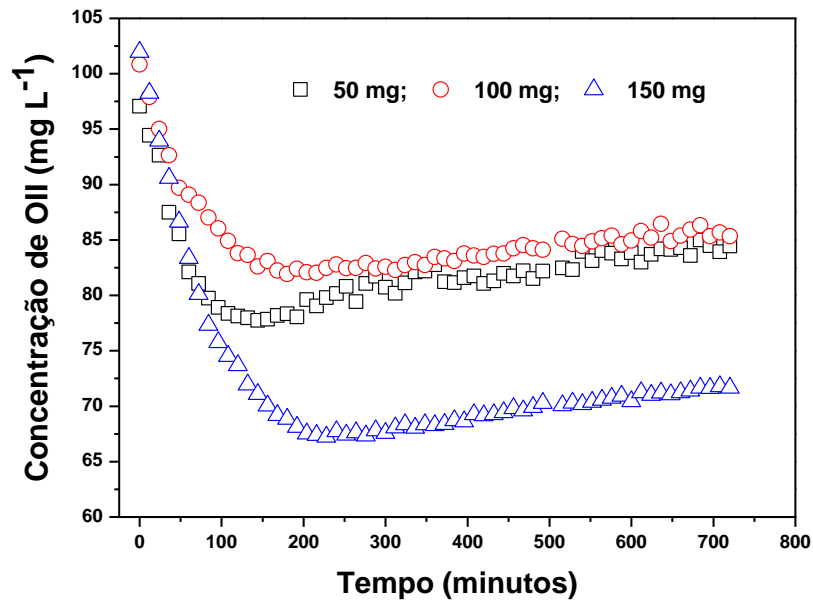
Figura 5: Teste de afinidade entre o corante OII e PEO1900 (a) Fotografia da solução de OII antes e após o contato de 24h (b) Fotografia da membrana de PEO1900 antes e após o processo adsorptivo



Fonte: Os autores

Os resultados obtidos a partir dos testes iniciais indicam que o híbrido PEO1900 pode ser aplicado com sucesso na remoção do corante OII. Porém, para uma melhor análise quantitativa, ensaios cinéticos foram feitos utilizando diferentes massas de PEO1900 e uma solução de OII à 100 mg L^{-1} . A Figura 6 apresenta as curvas cinéticas de adsorção do OII em PEO1900 para as diferentes massas utilizadas nos ensaios - 50, 100 e 150 mg. Foi possível observar que a adsorção das espécies aumenta com o tempo de contato independente da massa utilizada no processo adsorptivo. Uma maior redução nos valores de concentração do OII foi verificada quando 150 mg de adsorvente foi utilizada nos testes cinéticos, observando-se um decréscimo na concentração de 100 mg L^{-1} (concentração inicial) para aproximadamente 70 mg L^{-1} após o contato de 12 h, indicando uma eficiência de remoção de 30% do OII do meio aquoso. A massa utilizada nos experimentos está diretamente relacionada a quantidade de sítios de adsorção disponíveis para a adsorção do corante e, conseqüentemente, com o aumento na taxa de transferência e difusão das moléculas de OII devido a uma maior disponibilidade de sítios ativos.¹¹ Geralmente, a concentração de corantes encontrada em efluentes e ambientes aquáticos naturais são extremamente baixas quando comparadas com os valores utilizados nestes experimentos. Desta forma, o adsorvente PEO1900 pode ser aplicado com sucesso na remoção do corante OII de corpos aquáticos.

Figura 6: Concentração do corante OII em função do tempo após contato com PEO1900



Fonte: Os autores

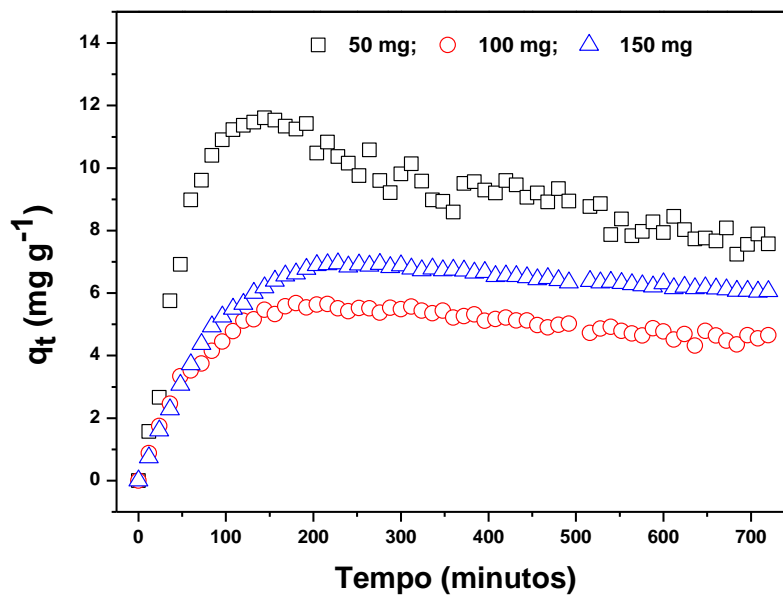
A capacidade dos materiais híbridos em adsorver o corante OII avaliado foi calculada segundo Equação 1:

$$q_t = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \quad (\text{Equação 1})$$

onde C_0 e C_e = concentração inicial e em cada tempo do adsorvato, respectivamente; V = volume da solução e m = massa de adsorvente usada no ensaio.

Na Figura 7 é possível verificar os valores de capacidade adsortiva do PEO1900 em cada intervalo de tempo. A partir destes resultados foi possível estimar o tempo necessário – tempo de equilíbrio (t_{eq}) para que os processos de adsorção e dessorção se estabilizem. Os dados revelaram uma cinética moderada, sendo observado um t_{eq} de 200 minutos (aproximadamente 3 h e 20 minutos) para as três diferentes massas de PEO1900 utilizadas nos processos. Caravieri e colaboradores¹², em testes de absorção de água utilizando o PEO1900, verificaram a hidrofiliabilidade do híbrido e observaram que uma hora (1 h) é suficiente para que o material alcance o máximo de absorção de água, ou seja, uma hora é o t_{eq} no processo de intumescimento do PEO1900. A água apresenta um importante papel na adsorção do OII no híbrido, pois transportará o corante até os sítios ativos do PEO1900. Desta forma, o início do processo (intervalo entre 1-2 h) é decisivo na adsorção, pois compreende o período de maior velocidade de difusão das moléculas do corante OII.

Figura 7: Efeito do tempo na adsorção do corante OII no PEO 1900: massas utilizadas no ensai0 50, 100 e 150mg.



Fonte: Os autores

Os dados experimentais obtidos durante os experimentos foram tratados utilizando os modelos matemáticos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem. O modelo de pseudo-primeira ordem, proposto por Lagergren¹³ e o modelo de pseudo-segunda ordem, proposto por Ho¹⁴ estão apresentados nas Equações 2 e 3, respectivamente:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 \cdot t \quad (\text{Equação 2})$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (\text{Equação 3})$$

onde q_{eq} e q_t representam as quantidades de corante (OII) adsorvido em mg g^{-1} no equilíbrio e em cada intervalo de tempo, respectivamente; t é o tempo em minutos; k_1 é a constante de velocidade de pseudo-primeira ordem (hora^{-1}); k_2 é a constante de velocidade do modelo de pseudo-segunda ordem ($\text{mg g}^{-1} \text{ horas}^{-1}$).

Os parâmetros cinéticos obtidos por regressão linear para os modelos avaliados podem ser visualizados na Tabela 1.

Tabela 1: Comparação das constantes de adsorção em função da massa de UPEO1900 no estudo cinético do corante OII

Massa (mg)	q _{eq} experimental [†]	Pseudo-primeira ordem			Pseudo-segunda ordem		
		k ₁ [†]	q _{eq} calculado [†]	R ²	k ₂ [†]	q _{eq} calculado [†]	R ²
50.0	7,57	0,0111	4,35	0,48	0,0032	7,67	0,97
100	4,65	0,0358	5,49	0,93	0,0125	4,61	0,98
150	6,05	0,0253	8,74	0,92	0,0108	6,58	0,98

[†]q_{eq} = quantidade de OII (mg g⁻¹) adsorvida no equilíbrio; k₁=constante cinética de pseudo-primeira ordem (min⁻¹); k₂= constante cinética de pseudo-segunda ordem (mg g⁻¹ min⁻¹).

Fonte: Os autores

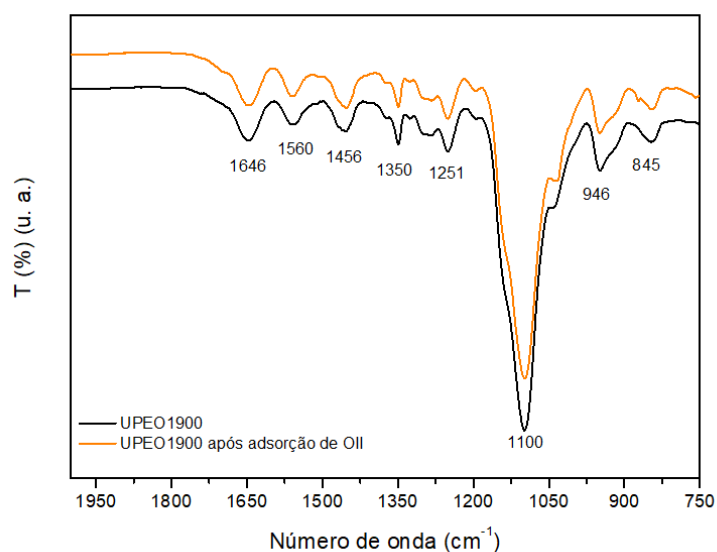
A partir dos valores obtidos para os coeficientes de correlação ($R^2 > 0,976$) verificou-se que a adsorção do corante OII no PEO 1900 pode ser descrita pelo modelo de pseudo-segunda ordem. Os valores de q_{eq} calculados utilizando este modelo apresentaram similaridade com os valores de q_{eq} obtidos experimentalmente. Os resultados indicam que a concentração do corante no meio aquoso e os sítios ativos do adsorvente são determinantes na velocidade do processo adsorptivo e, além disso, que o mecanismo predominante na adsorção é a quimissorção – que envolve a troca ou compartilhamento de elétrons das espécies envolvidas no processo.^{15,16} Zhu e colaboradores avaliaram a adsorção de OII em hidróxidos duplos lamelares de Fe₃O₄/MgAl e verificaram que a cinética de adsorção também segue o modelo de pseudo-segunda ordem.¹⁷

Os valores de capacidade adsorptiva observados no teste cinético do corante OII foram de 7,57; 4,65 e 6,05 mg g⁻¹ para 50, 100 e 150 mg de PEO 1900, respectivamente. Apesar da proximidade, os resultados mostraram uma redução nos valores de capacidade adsorptiva com o aumento da massa do híbrido. Assim, 50 mg de adsorvente mostrou-se como a melhor dosagem a ser aplicada nos processos adsorptivos de OII em PEO1900.

Para compreender melhor a interação do híbrido e corante, amostras de PEO1900 sem e com OII adsorvido foram caracterizadas por espectroscopia de absorção no infravermelho (Figura 8). Após os ensaios cinéticos, as amostras de PEO1900 com OII adsorvido (PEO 1900-OII) foram mantidas à temperatura ambiente durante 15 dias para a completa remoção do solvente. No espectro de FT-IR do PEO1900 observou-se as principais picos característico do material híbrido: em 1646

cm^{-1} (amida I), 1560 cm^{-1} (amida II), 1456 , 1350 e 1251 cm^{-1} (CH_2 e CH_3), 1100 cm^{-1} (CO do poliéter), 946 cm^{-1} (C-C) e 845 cm^{-1} (CO e CH_2).¹⁸ Verificou-se que após a adsorção do OII estes picos não sofreram alterações, sugerindo que a adsorção não modifica a estrutura da matriz híbrida. Porém, quantidade de OII retido na matriz ($< 30 \text{ mg g}^{-1}$) pode ser muito baixa para observar alterações (deslocamentos ou surgimento de picos) no espectro de FT-IR. Desta forma, é necessário o uso de uma técnica mais avançada para se obter informações da interação OII e PEO1900.

Figura 8: Espectros de FT-IR do híbrido UPEO1900 antes e após a adsorção do corante OII



Fonte: Os autores

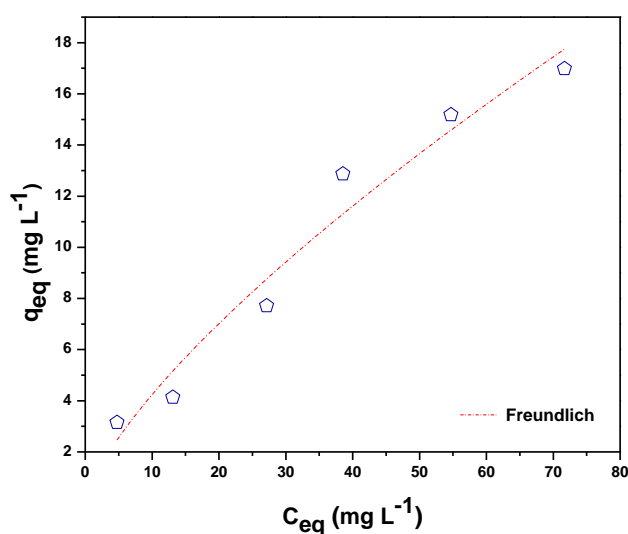
Os ensaios de isotermas de equilíbrio variando a concentração de OII de 10 à 100 mg L^{-1} mostraram que a capacidade adsorptiva aumenta com o aumento das concentrações iniciais (Figura 9). Porém, a curva isotermica obtida a $25 \text{ }^\circ\text{C}$ indicou que a superfície do PEO 1900 não alcançou a saturação. Desta forma, ensaios utilizando valores de concentrações iniciais são necessários para estimar a capacidade adsorptiva de OII em PEO 1900.

Para melhor descrever o mecanismo adsorptivo de OII em PEO1900, os dados obtidos nos ensaios de equilíbrio foram tratados matematicamente usando o modelo de isoterma de Freundlich (Equação 4).

$$q_e = K_f(C_e)^{1/n} \quad \text{Equação 4}$$

onde q_e e C_e são capacidade adsortiva no equilíbrio (mg g^{-1}) e concentração de OII em solução no equilíbrio (mg L^{-1}); K_f é a constante de Freundlich relacionada a capacidade adsortiva (mg/g) (L/g) $^{1/n}$; n é a constante de Freundlich relacionada a intensidade de adsorção. O ajuste dos dados do equilíbrio pode ser visualizado na Figura 9.

Figura 9: Isoterma de adsorção do corante OII em PEO1900 ajustadas segundo o modelo de Freundlich



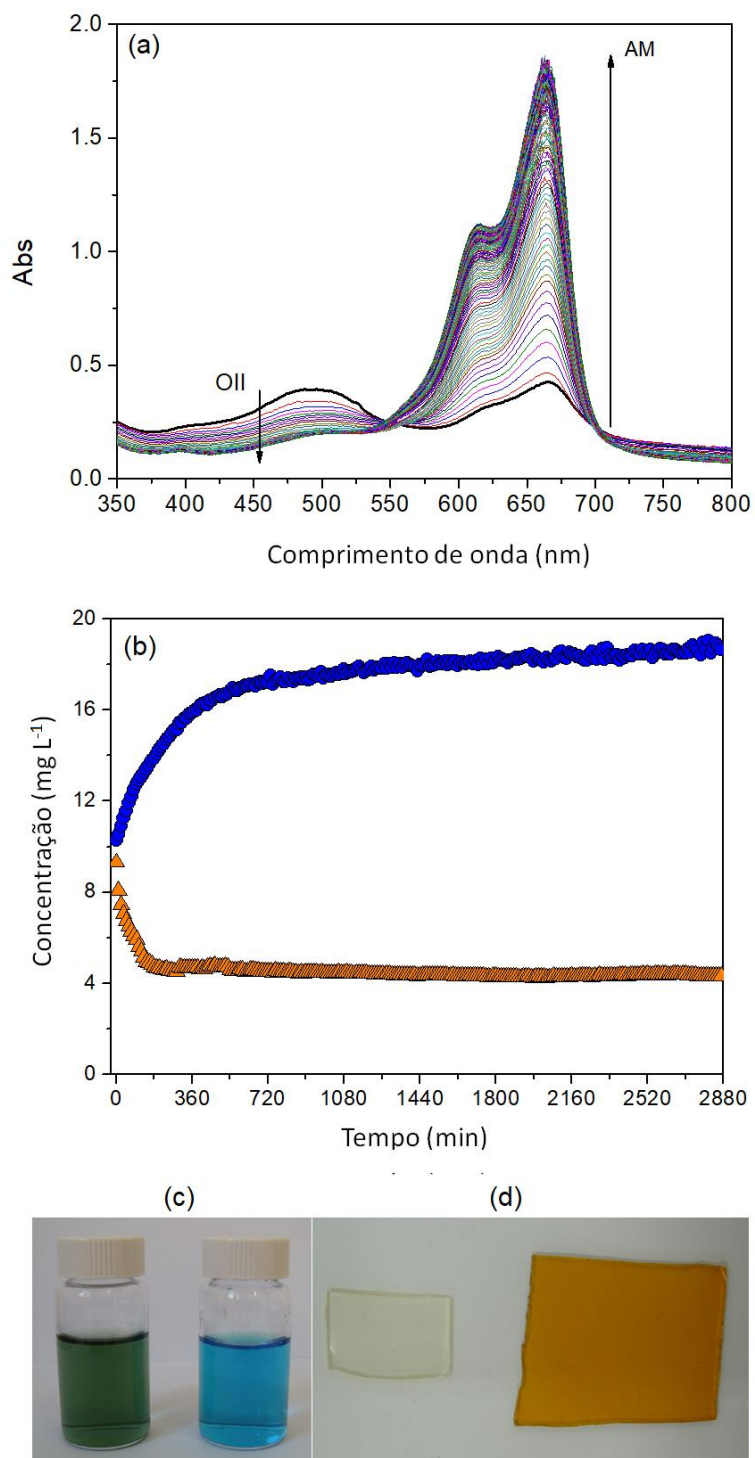
Fonte: Os autores

Os dados experimentais obtidos para isoterma de adsorção mostraram um bom ajuste para o modelo de Freundlich ($R^2= 0,956$), sugerindo que a adsorção ocorre em multicamadas na superfície do PEO1900 e que a interação entre moléculas de OII podem auxiliar no processo adsortivo. Oliveira e colaboradores¹¹ avaliaram a adsorção de bisfenol em uma matriz híbrida de poliéster e verificaram que o processo adsortivo das moléculas do adsorvato no adsorvente são descritas pelo modelo de isoterma de Freundlich.

Apesar da ausência de interação entre o AM e PEO1900, foram feitos testes utilizando os dois corantes: AM e OII. A eficiência do PEO1900 na adsorção do corante OII motivou a usar a matriz híbrida para separar espécies aniônicas de soluções contendo uma mistura de corantes. O objetivo foi verificar o comportamento do adsorvente em efluentes que, por sua vez, podem acumular diferentes substâncias orgânicas e inorgânicas. Foram utilizadas as condições experimentais de 0,4 g de amostra e 30 mL de solução contendo ambos os corantes AM/OII na concentração de 10 mg L^{-1} .

A Figura 10 mostra os resultados obtidos nos testes de seletividade. A intensidade da banda a 482 nm característica das moléculas de OII em solução decresceram, por outro lado as bandas a 665 e 610 nm relativas ao AM aumentam de intensidade (Figura 10a). A concentração de OII e AM em função do tempo de contato com PEO1900 é mostrado na Figura 10b. O PEO1900 mostrou uma elevada afinidade pelas moléculas de OII (aniônico), observando-se a concentração inicial diminui de 10 mg L⁻¹ para ~ 4,1 mg L⁻¹ após 120 minutos. Figura 10c mostra as fotografias da solução contendo mistura de ambos OII-AM antes e após contato com PEO1900. A cor inicial verde da solução contendo OII-AM torna-se mais azul em função do tempo de contato com PEO1900 evidenciando a permanência das espécies AM em solução. Por outro lado, a amostra PEO1900 inicialmente incolor adquiri uma coloração alaranjada após final do ensaio cinético, indicativo da seletividade do PEO1900 por espécies aniônicas (Figura 10d). O aumento na concentração do AM em solução pode ser justificada pela absorção da água (intumescimento) nos estágios iniciais do processo adsorptivo. Como o PEO1900 mostrou-se seletivo para espécies aniônicas, a remoção do solvente no processo de difusão das moléculas de OII concentra a solução com AM. Desta forma, o PEO1900 pode ser aplicado com sucesso na adsorção de espécies aniônicas do meio aquoso.

Figura 10: Teste de seletividade do PEO 1900 (a) Espectro de absorção na região do UV-vis de uma mistura de AM e OII em contato com o híbrido (b) Efeito na concentração do corantes após contato com PEO 1900, (c) fotografia da solução contendo OII-AM antes e após ensaios de adsorção e (d) fotografia do PEO1900 antes e após ensaios de adsorção.



Fonte: Os autores

4. CONCLUSÕES

Através do uso da matriz híbrida PEO1900 foi possível obter um material capaz de separar corantes aniônicos de uma mistura contendo espécies aniônica/catiônica. Os resultados cinéticos de adsorção mostraram que o modelo de pseudo-segunda ordem ajustou melhor em comparação ao de primeira-ordem, indicando que a concentração do corante no meio aquoso e os sítios ativos do adsorvente são determinantes na velocidade do processo adsorptivo, onde o mecanismo predominante na adsorção é a quimissorção. Foi desenvolvido com sucesso um adsorvente a partir de híbridos orgânico-inorgânicos da classe siloxano-poliéter onde viabiliza o uso deste como candidato para remediação ambiental. Em conclusão, a matriz PEO1900 é uma grande promessa para a separação inteligente de corantes em meio aquoso, com potenciais aplicações no tratamento de águas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) – n° 307696/2021-9, da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) – n° 2018/07362-9, e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – (CAPES) código 001.

REFERÊNCIAS

1. Bo Z.; Lixian C.; Tianyi Y.; Jiangyan X.; Yanyu W.; Min C.; Hongmei J.; Fabrication of Fe₃O₄/MgAl-layered double hydroxide magnetic composites for the effective removal of Orange II from wastewater. *Water Sci Technol*, 2018, 78(5): 1179–1188.
2. Andreia N.F.; Carlos A.P.A.; Nito A.D.; Maria M.S.S.; Isotherm and thermodynamic data of adsorption of methylene blue from aqueous solution onto peat. *Journal of Molecular Structure*, 2010, 982: 62-65.
3. Simona G. M.; Maria E.R.; Paula S.; Dye adsorbed on copolymer, possible specific sorbent for metal ions removal. *Rsc Advances*, 2014, 4: 27354-27362.
4. Yunchuan Q., Meiling Y., Wenhui X., Sha H., Yi M., Natural polysaccharides-modified graphene oxide for adsorption of organic dyes from aqueous solutions, *J. Colloid Interf. Sci*, 2017, 486: 84-96.
5. Vanitha K., Jibtail K., Sie Y. L., Efficiency of Various Recent Wastewater Dye Removal Methods: A Review. *J. Environm. Chem. Eng.*, 2018, 6: 4676-4697.
6. Najoua F., Ezzeddine S., Acid treatment of south Tunisian palygorskite: Removal of Cd(II) from aqueous and phosphoric acid solutions. *Desalination*. 2010, 250: 26-34.
7. Lotfi M., Nafaâ A., Modified activated carbon for the removal of copper, zinc, chromium and cyanide from wastewater. *Sep. Purif. Technol.*, 2002. 26: 137-146.
8. Celso V. S., Leila A. C., Sandra H. P., Anselmo G. O., *Chem. Mater.*, 2009, 21 (3): 463-467.
9. Eduardo F. M., Celso R. N. J., Leila A. C., Sandra H. P., Valerie B., Celso V. S., *J. Sol-Gel Sci and Tech*, 2014, 70: 317–328.
10. Eduardo F. M., Sandra H. P., Valerie B., Celso V. S., Fine-tuning of a nanostructure, swelling, and drug delivery profile by blending ureasil–PEO and ureasil–PPO hybrids. *Polym. Chem.*, 2014, 5: 1897–1904.
11. Lilian K. O., André L. A. M., Valdir B., Renato L. T. P., Rodrigo S. B., Giovanni F. C., Katia J. C., Eduardo F. M., Removal of the emerging contaminant bisphenol A by an ureasil–PEO hybrid membrane: experimental study and molecular dynamic simulation. *Environ Sci Pollut Res Int*, 2017, 24(22):18421-18433.
12. Beatriz B. C., Natana A. M. J., Lilian K. O., Marina D. A., Gabriele P. A., Eduardo F. M., Ureasil Organic–Inorganic Hybrid as a Potential Carrier for Combined Delivery of Anti-Inflammatory and Anticancer Drugs. *ACS Appl. Bio Mater.* 2019, 2: 1875–1883.
13. Lagergren S., About the Theory of so Called Adsorption of Soluble Substances, *Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar*, 1898, 24: 1-39.

14. Yuhshan H., Gordon M., Sorption of dye from aqueous solution by peat. *Chem. Eng. J.* , 1998, 70: 115–124.
15. Yuhshan H., Gordon M., A Comparison of Chemisorption Kinetic Models Applied to Pollutant Removal on Various Sorbents. *Process Safety and Environmental Protection*, 1998, 4: 332-340.
16. Yuhshan H., Review of second-order models for adsorption systems. *J. Hazard. Mater*, 2006, 3: 681-689.
17. Bo Z., Lixian C., Tianyi Y., Jiangyan X., Yanyu W., Min C., Hongmei J., Fabrication of Fe₃O₄/MgAl-layered double hydroxide magnetic composites for the effective removal of Orange II from wastewater. *Water Sci Technol*, 2018, 78(5): 1179–1188.
18. Leandro L., Eduardo F. M., Leila A. C., Celso V. S., Valerie B., Sandra H. P., Drug–matrix interaction of sodium diclofenac incorporated into ureasil–poly(ethylene oxide) hybrid materials. *RSC Advances*, 2012, 2: 5629–5636.

CAPÍTULO 09

TERMODINÂMICA APLICADA À MOTORES A JATO

Jonas Renato Dias Alves Dinis

FATEC de Pindamonhangaba - SP

E-mail: jonas.dinis@hotmail.com

Emerson Augusto Raymundo

FATEC de Pindamonhangaba - SP

E-mail: emerson.raymundo2@fatec.sp.gov.br

Daniela Camargo Vernilli

FATEC de Pindamonhangaba - SP

E-mail: daniela.vernilli2@fatec.sp.gov.br

Celio Pacheco de Siqueira

FATEC de Pindamonhangaba - SP

E-mail: celio.siqueira@fatec.sp.gov.br

João Mauricio Godoy

FATEC de Pindamonhangaba - SP

E-mail: joao.godoy4@fatec.sp.gov.br

Amir Rivaroli Junior

FATEC de Pindamonhangaba - SP

E-mail: amir.rivaroli@fatec.sp.gov.br

Sérgio Roberto Montoro

FATEC de Pindamonhangaba - SP

E-mail: sergio.montoro@fatec.sp.gov.br

Resumo: Neste trabalho foi abordado o conceito de ciclos termodinâmicos aplicados em motores a Jato. Desde o a teoria dos ciclos termodinâmicos que busca pelo ciclo perfeito, onde há a ideia de um ciclo possuir um aproveitamento energético sem dissipação, até sua aplicação real em motores a Jato, que não possui tal eficiência, até qual ciclo que se aplica a essa finalidade e sua adequação quanto o ciclo ideal com o funcionamento real do ciclo em um motor a Jato. Foi pontuado também o ciclo Ericsson que é o ciclo idealizado para um motor a Jato, em relação ao ciclo Brayton que é atualmente utilizado no conceito de construção dos motores, tanto nos motores que são concebidos como Turbojatos quantos nos motores Turbofan. Demonstrando os estágios de trabalho e ciclos termodinâmicos que o ciclo Brayton emprega nos motores Turbofan e Turbojato. Além de os conceitos utilizados para a busca da melhor eficiência, tanto energética quanto por motores de maior potência e o melhor equilíbrio entre as duas.

Palavras-chave: Termodinâmica; Motores a jato; Ciclos termodinâmicos; Eficiência energética; Turbina a gás.

Abstract: In this work, the concept of thermodynamic cycles in jet engines was addressed. From the theory of thermodynamic cycles that seeks the perfect cycle, where there is an idea of a cycle having an energy use without dissipation, to its real application in jet engines, which do not have such efficiency, up to which cycle that applies to this and its suitability for the ideal cycle with the actual operation of the cycle in a jet engine. The Ericsson cycle was also scored, which is the cycle idealized for a jet engine, compared to the Brayton cycle that is currently used in the engine construction concept, both in engines that are designed as Turbojets and in Turbofan engines. Demonstrating the work stages and thermodynamic cycles that the Brayton cycle employs in the Turbofan and Turbojet engines. In addition to the concepts used to search for the best efficiency, both energetic and with higher power engines and the best balance between the two.

Keywords: Thermodynamics; Jet engines; Thermodynamic cycles; Energy Efficiency; Gas turbine.

1. INTRODUÇÃO

Na termodinâmica há vários tipos de ciclos como ciclo de Carnot, ciclo Otto, ciclo Stirling entre outros. Historicamente esses ciclos foram desenvolvidos com a finalidade de uma melhora na eficiência energética empregada ao processo que o sistema realiza, buscando sempre o ciclo ideal. Os ciclos termodinâmicos são basicamente processos que um sistema realiza a fim de se obter trabalho do sistema ou realizar trabalhos sobre o sistema. Sendo assim cada ciclo tem suas características intrínsecas ao processo, como o ciclo Otto que é diferente do ciclo Diesel, que por fim é diferente do ciclo Stirling.

- Ciclo Otto (motor a gasolina)
- Ciclo Diesel (motor a diesel)
- Ciclo de Stirling (motor de fontes de diferentes temperaturas)
- Ciclo de Carnot (ciclo termodinâmico considerado ideal)

Neste trabalho será abordada a aplicação do ciclo Brayton em motores a jato com a comparação com o ciclo Ericsson que é o ciclo considerado ideal para este tipo de processo empregado. Mostrando a diferença de eficiência entre o ciclo Brayton e o ciclo Ericsson, sua aplicação no funcionamento do motor a jato e a descrição termodinâmica de cada um desses dois ciclos.

2. CARACTERÍSTICAS E DIFERENÇAS DE CADA CICLO

2.1 CICLO ERICSSON

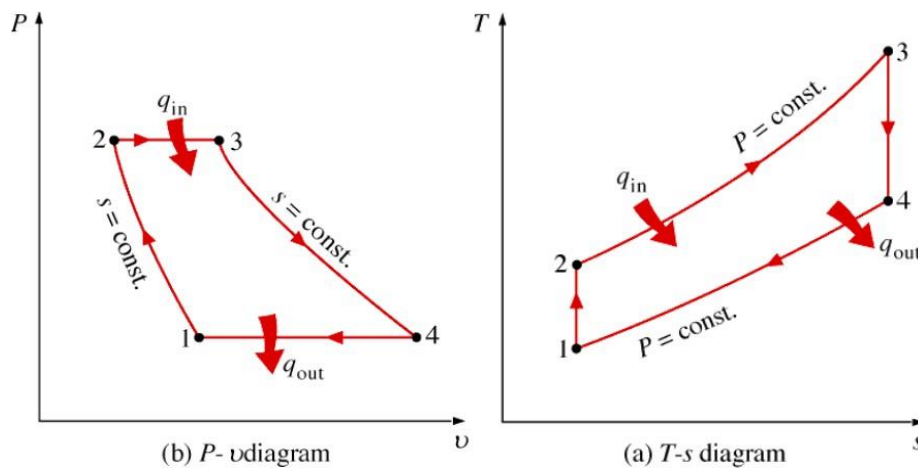
O Ciclo Ericsson é um ciclo termodinâmico ideal composto por quatro processos reversíveis, sendo duas transformações isotérmicas e duas transformações isobáricas. Esse ciclo descreve o funcionamento teórico de um tipo de máquina térmica chamada de motor Ericsson. O Ciclo Ericsson possui similaridades com outros ciclos importantes, como o Ciclo Stirling e o Ciclo Brayton. Os processos que ocorrem no Ciclo Ericsson Ideal estão listados a seguir:

- *Compressão isotérmica*: O espaço de compressão está inter-resfriado para que o gás seja comprimido isotermicamente. O ar comprimido flui para um tanque de armazenamento a pressão constante. No ciclo ideal, não há transferência de calor através das paredes do tanque.
- *Adição de calor isobárica*: Do tanque, o ar comprimido flui através de um regenerador e ganha calor a uma alta pressão no caminho para um cilindro de energia aquecido.
- *Expansão isotérmica*: O cilindro de energia é aquecido externamente, e o gás expande isotermicamente.
- *Remoção de calor isobárica*: Antes de o ar ser liberado, ele passa novamente pelo regenerador, que resfria o ar a uma baixa pressão e é aquecido para o próximo ciclo.

O Ciclo Ericsson é o ciclo-limite, onde há um número infinito de estágios de reaquecimento e inter-resfriamento. Nesse processo, toda a adição de calor ocorre quando o fluido de trabalho estiver na temperatura mais alta e toda a remoção de calor ocorrem quando ele estiver na temperatura mais baixa. Em aplicações reais, o limite econômico de estágios usados nas fases de reaquecimento e inter-resfriamento é dois ou três.

Cada inter-resfriador retorna o fluido de trabalho para a temperatura mais baixa, da entrada do primeiro estágio de compressão, e cada reaquecedor retorna o fluido de trabalho para a temperatura mais alta, da entrada do primeiro estágio de expansão. O regenerador faz com que o calor recebido na transformação isobárica a alta pressão seja obtido do calor rejeitado na transformação isobárica a baixa pressão, esses fenômenos termodinâmicos deste ciclo pode ser melhor entendido com o esquema demonstrado na Figura 1.

Figura 1: Diagrama Ciclo Ericsson, Pressão vs Volume e Temperatura vs Entropia



Fonte: http://www.fem.unicamp.br/~franklin/ES672/pdf/turbina_gas_ciclos.pdf (2019)

2.2 CICLO BRAYTON

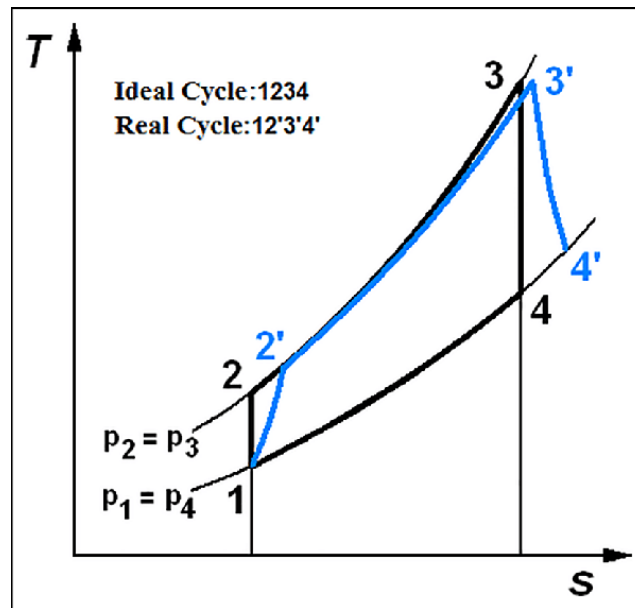
O Ciclo de Brayton é um ciclo termodinâmico no qual a adição de calor ocorre a pressão constante, utilizado no estudo das turbinas a gás.

Ele é um ciclo ideal, uma aproximação dos processos térmicos que ocorrem nas turbinas a gás, descrevendo variações de estado (pressão e temperatura) dos gases. O conceito é utilizado como base didática e para análise dos ciclos reais, que se desviam do modelo ideal, devido a limitações tecnológicas e fenômenos de irreversibilidade, como o atrito. A comparação do ciclo ideal com o ciclo real pode ser vista na Figura 2.

O ciclo se constitui de quatro etapas, como demonstrado em Esquema básico de Brayton.

O ciclo do motor é nomeado após George Brayton (1830-1892), coordenador americano que desenvolveu originalmente para o uso nos motores de pistão, embora fosse proposto e patenteado originalmente por John Barber, inglês em 1791. Também é conhecido como o ciclo de Joule. O ciclo de Ericsson é semelhante ao ciclo de Brayton, mas usa calor externo e incorpora o uso de um regenerador. Há dois tipos de ciclos de Brayton, abertos à atmosfera e usando a câmara de combustão interna ou fechado e usando trocador de calor.

Figura 2: Diagrama Entalpia x Entropia do Ciclo Brayton (ideal) e ciclo real a gás



Fonte: https://www.researchgate.net/figure/IdealandrealBraytoncycle_fig1_336671443 (2019)

2.3 COMPARAÇÃO ENTRE OS CICLOS

O primeiro ciclo desenvolvido por Ericsson é chamado atualmente de "ciclo Brayton", comumente aplicado aos motores a jato rotativo para aviões.

A modificação no Ciclo Brayton que faz com que seu comportamento se aproxime do Ciclo Ericsson é a utilização de múltiplos estágios de compressão e expansão. Diferentemente do Ciclo Brayton, que utiliza compressões e expansões adiabáticas, o Ciclo Ericsson usa compressões e expansões isotérmicas.

O primeiro ciclo de Ericsson é chamado agora de ciclo de Brayton. O segundo ciclo de Ericsson que é o ciclo mais conhecido usualmente como "Ciclo de Ericsson"; já o segundo ciclo de Ericsson seria o limite do Ciclo de Brayton, como mostra o Quadro Esquemático.

Quadro 1: Quadro Esquemático. – Evolução do Ciclo Ericsson e Atual Ciclo Brayton

Ciclo/Processo	Compressão	Adição de calor	Expansão	Dissipação do calor
Ericsson (Primeiro, 1833)	adiabático	isobárico	adiabático	isobárico
Ericsson (Segundo, 1853)	isotérmico	isobárico	isotérmico	isobárico
Brayton (Turbina)	adiabático	isobárico	adiabático	isobárico

Fonte: BECK, Douglas Stephen (1996). Gas-Turbine Regenerators. New York: Chapman & Hall. pp. 235–237

O Ciclo Ericsson, assim como o Ciclo Stirling, utiliza um regenerador. Os dois ciclos possuem eficiências térmicas iguais a do Ciclo de Carnot.

3. MOTOR A JATO

3.1 PRECURSORES DO MOTOR A JATO

Os motores a reação surgiram, como conceito, no primeiro século depois de Cristo, quando Heron de Alexandria inventou o eolípila. Este usava vapor direcionado através de dois tubos de modo a conseguir movimentar uma esfera em seu próprio eixo. O invento nunca foi utilizado como fonte de energia mecânica, e os potenciais usos práticos da invenção de Heron não foram reconhecidos. Simplesmente foi considerado como uma curiosidade. Favretto (2013).

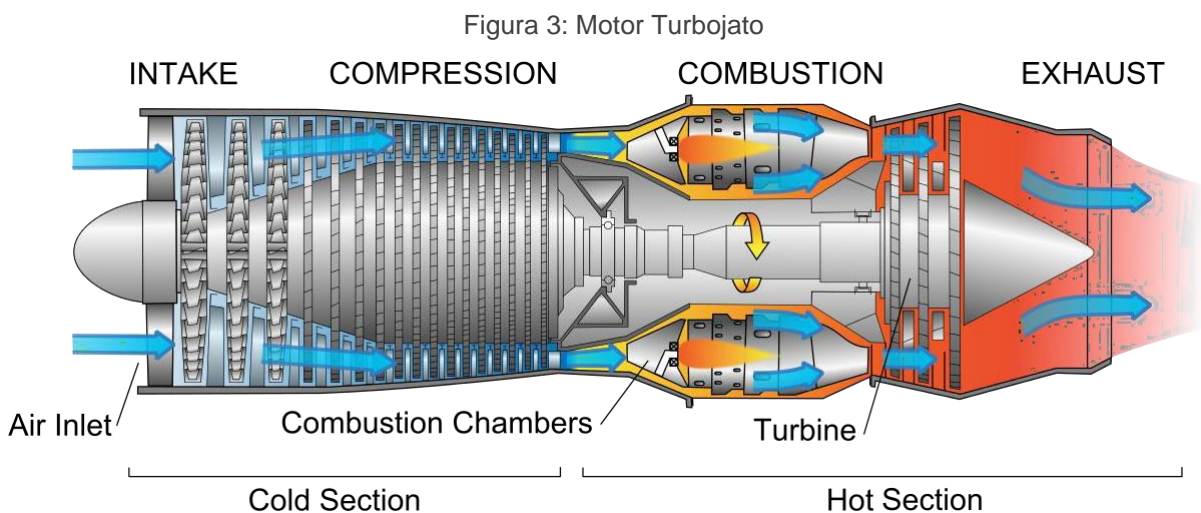
A propulsão a jato, literalmente e figurativamente, pode ser levada a sério com a invenção do foguete pelos chineses no século XI. Foguetes inicialmente foram destinados a simples fins, como no uso de fogos de artifício, mas gradualmente passaram a ser usados para propelar armamentos de grande efeito moral; neste ponto a tecnologia estagnou-se por séculos. Teixeira (2019).

3.2 FUNCIONAMENTOS DE UM MOTOR A JATO

Há vários tipos de motores a Jato, muitos deles em operação, muitos deles em desenvolvimento e alguns deles já obsoletos. Os mais comuns no mercado são os modelos de motores turbofan que são motores empregados a aviação comercial e os motores turbojato que são voltados para a indústria bélica. O princípio do

funcionamento do motor a jato são os mesmos nos dois modelos mencionados, com uma leve diferença de construção.

Sua concepção parte da premissa de um motor de combustão interna onde a 4 estágios de funcionamento, há primeiro os estágios de admissão, segundo de compressão, terceiro de queima e o quarto escape dos gases resultantes do processo. O seu funcionamento consiste em aspirar o ar (1º estágio), esse ar aspirado passa por um compressor onde será comprimido (2º estágio), o ar comprimido segue para a câmara de combustão onde misturado com o combustível ocorre a queima com o auxílio de ignitores, são necessários apenas para dar ignição ao motor, pois depois que o motor deu a partida a ignição ocorre de forma contínua (3º estágio), e no 4º estágio ocorre o escape dos gases provenientes da queima na câmara de combustão, onde parte desses gases são reaproveitados para aquecer o ar comprimido, assim melhorando a eficiência do motor.

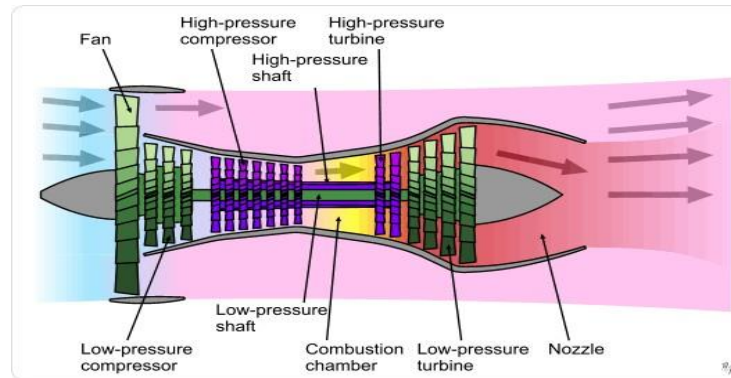


Fonte: Jet engine.svg -Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/File:Jet_engine.svg (2019)

Como ilustrado no motor turbojato da Figura 3. Os estágios de um motor a jato são bem definidos e relativamente simples de ser entendido. Esse motor como o da Figura 3. tem a característica de elevar significativamente a temperatura dos gases que se expandem através da turbina onde a força é usada para movimentar o eixo do compressor. Embora este processo de expansão reduza a temperatura e a pressão do gás na saída da turbina, ambas estão ainda muito acima das condições naturais. O gás em expansão sai da turbina através dos bocais de saída do motor, produzindo um jato de alta velocidade gerando um empuxo que força o motor ir na direção contrária

dos jatos de gases expelidos. Se a velocidade do jato exceder a velocidade de voo do avião, existirá uma pressão de aceleração sobre a fuselagem.

Figura 4: Motor Turbofan



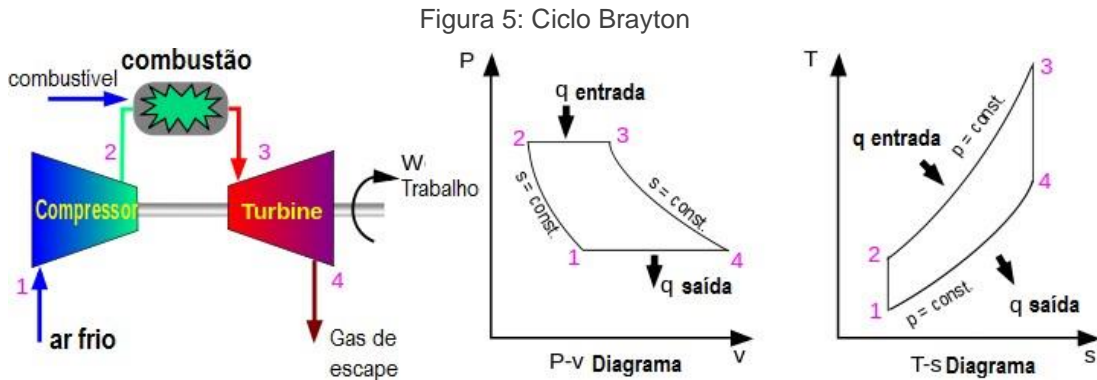
Fonte: Turbofan operation.svg Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/File:Turbofan_operation.svg
(2019)

A Figura 4. mostra um Turbofan, que são os motores utilizados em aviões comerciais, os motores que empregam a característica desse tipo de construção têm por premissa o mesmo funcionamento dos motores turbo jatos como o mencionado na Figura 3. com a diferença de que os motores Turbofan utilizam dois compressores um de baixa pressão e um de alta pressão, além de terem um canal em que as pás primárias aceleram o ar através dela assim aumentando a eficiência e ajudando no resfriamento do motor.

4. EMPREGO DO CICLO BRAYTON NOS MOTORES A JATO

O Ciclo Brayton real que é empregado no funcionamento de motores a jato consiste nos seguintes estágios termodinâmicos.

- 1 - Processo adiabático - compressão.
- 2 - Processo isobárico - adição de calor.
- 3 - Processo adiabático - expansão.
- 4 - Processo isobárico - rejeição de calor.



Fonte: POTTER, Merle C.; SCOTT, Elaine P. (2007). Ciências Térmicas: Termodinâmica, Mecânica dos Fluidos e Transmissão de Calor.

A Figura 5. Mostra o esquema do ciclo Brayton aplicado em um motor a jato, juntamente com o digrama termodinâmico ideal e real do ciclo Brayton respectivamente.

Uma vez que nem a compressão nem a expansão podem ser verdadeiramente isentrópicas, as perdas através do compressor e do expensor representam fontes de imperfeção ineficaz. Em geral, aumentar a taxa de compressão é a maneira mais direta de aumentar a potência total produzida por um sistema Brayton.

A determinação do rendimento ciclo-padrão pode ser obtida na Equação 1:

$$\eta = 1 - \frac{Q_l}{Q_h} = 1 - \frac{c_p (T_4 - T_1)}{c_p (T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1 \left(\frac{T_4}{T_1} - 1 \right)}{T_2 \left(\frac{T_3}{T_2} - 1 \right)} \quad (1)$$

em que:

Q_l = Calor saída (frio),

Q_h = Calor entrada (quente), c_p = Constante do gás,

T = Temperaturas.

contudo,

$$\frac{P_3}{P_4} = \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = \left(\frac{T_3}{T_4} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \quad (2)$$

$$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{(\gamma-1)/\gamma} \quad (3)$$

A eficiência do ciclo de Brayton ideal é mostrada conforme Equação 3, em que γ é a razão de capacidade de calor.

A temperatura mais elevada no ciclo ocorre no final do processo de combustão, e é limitada pela temperatura máxima que as pás da turbina podem suportar. Isto também limita as relações de pressão que podem ser utilizadas no ciclo. Para uma temperatura fixa de entrada da turbina, a produção líquida de trabalho por ciclo aumenta com a razão de pressão (assim a eficiência térmica) e a saída de trabalho líquido. Com menos produção de trabalho por ciclo, é necessária uma maior quantidade de combustível (assim um sistema maior) para manter a mesma potência, deixando de ser um sistema econômico. Nos desenhos mais comuns, a razão de pressão de uma turbina a gás varia de cerca de 11 a 16 bar.

A potência de um motor Brayton pode ser melhorada pelo: Reaquecimento, em que o fluido de trabalho na maioria dos casos se expande através de uma série de turbinas, então passa por uma segunda câmara de combustão, antes de se expandir à pressão ambiente, através de um conjunto final de turbinas. Possui uma vantagem de aumentar a potência de escape possível para uma determinada taxa de compressão sem exceder quaisquer restrições metalúrgicas (geralmente cerca de 1000 °C). O uso de uma pós-combustão para motores de aviões a jato também pode ser atribuído como "reaquecimento"; é um processo diferente em que o ar reaquecido é expandido através de um bocal de impulso em vez de uma turbina. As restrições metalúrgicas são um pouco atenuadas, permitindo temperaturas de reaquecimento muito maiores (cerca de 2000°C). O reaquecimento é utilizado com maior frequência para melhorar a potência específica (pela taxa de transferência do ar), e geralmente é associado a uma queda na eficiência. Este efeito é especialmente pronunciado nos pós-combustores devido às quantidades extremas de combustível utilizado.

Com relação à eficiência o aumento da pressão, aumenta a eficiência do ciclo de Brayton, ou seja, existe uma relação de pressão crescente. Isto é análogo ao aumento da eficiência observado no ciclo Otto, quando a taxa de compressão é aumentada. No entanto, os limites práticos ocorrem quando se trata de aumentar a proporção da pressão. Em primeiro lugar, o aumento da taxa de pressão aumenta a temperatura de descarga do compressor. Isso pode causar a saída da temperatura dos gases deixando o combustor exceder os limites metalúrgicos da turbina. Além disso, o diâmetro das lâminas do compressor diminui progressivamente nos estágios de pressão mais altos do compressor. Uma vez que o espaço entre as lâminas e o

revestimento do motor aumenta em tamanho como uma porcentagem da altura da lâmina do compressor à medida que as lâminas ficam menores em diâmetro. Uma maior porcentagem do ar comprimido pode escorrer atrás das lâminas em estágios de pressão mais alta, isso causa uma queda na eficiência do compressor, e é mais provável que ocorra em turbinas menores (uma vez que as lâminas são menores para começar). A eficiência aumenta a taxa de pressão. Por isso, é esperado um pequeno acréscimo ao aumentar o índice de pressão se já estiver alto. Recuperando - se o ciclo de Brayton for executado com uma relação de baixa pressão e um aumento de temperatura na câmara de combustão, o gás de escape (após o último estágio da turbina) pode ainda ser mais quente do que o gás de entrada comprimido (após o último estágio de compressão, mas antes da câmara de combustão). Nesse caso, um permutador de calor pode ser usado para transferir energia térmica da exaustão para o gás já comprimido, antes de entrar na câmara de combustão. A energia térmica transferida é efetivamente reutilizada, aumentando assim a eficiência. No entanto, esta forma de reciclagem de calor só é possível se o motor for executado em um modo de baixa eficiência com baixa relação de pressão, em primeiro lugar. A transferência de calor da saída (após a última turbina) para a entrada (antes da primeira etapa do compressor) reduziria a eficiência, pois o ar de entrada mais quente significa mais volume, portanto, mais trabalho para o compressor. Para motores com combustíveis criogênicos líquidos, ou seja, hidrogênio pode ser viável, porém, e necessário usar o combustível para esfriar o ar de entrada antes da compressão para aumentar a eficiência. Este conceito é amplamente estudado para o motor SABRE. Um motor Brayton também forma metade do sistema de ciclo combinado, que combina com um motor Rankine para aumentar ainda mais a eficiência geral. No entanto, embora isso aumente a eficiência geral, não aumenta a eficiência do próprio ciclo de Brayton. Os sistemas de cogeração utilizam o calor residual dos motores Brayton para produção de água quente ou aquecimento de espaços.

5. APLICAÇÕES E CONCLUSÃO

O ciclo de Joule-Brayton é a base para produção de Energia elétrica e Energia mecânica. Nestes casos, o ciclo é usado na entalpia dos fluidos para produzir trabalho mecânico para o eixo. Existem muitos esquemas construtivos, como o uso de compressores axiais ou radiais de acordo como tamanho, com a utilização de um ou

dois veios coaxiais de, e ainda outras diferenças. Um valor para o desempenho real de máquinas estacionárias é de cerca de 35-38% para um ciclo básico, embora possa ser superior a 50% durante um ciclo com Intercooler. Os globais aumentam a eficiência energética, mesmo os que exploram o calor residual (ar a cerca de 500 °C) para a cogeração ou para um ciclo de vapor secundário. Estas medidas, é claro, fazem aumentar a eficiência do processo, mas deixa inalterado o funcionamento do ciclo de Joule-Brayton.

O ciclo Brayton é um processo utilizado, principalmente, em turbinas a gás. Ele pode operar em um ciclo aberto e em um ciclo fechado. Quando operada em um ciclo aberto, o gás utilizado entra numa câmara de compressão, pelo bocal de admissão. Em seguida, o gás passa por uma câmara de combustão à pressão constante, onde reage com o combustível. Por fim, os gases de combustão passam pela turbina e são eliminados pelo duto de escape. Este ciclo pode ser utilizado como motor de veículos terrestres, marítimos ou aéreos. Já no ciclo fechado, o gás, na câmara de combustão, recebe calor de uma fonte quente externa. Após a passagem do gás pela turbina, um trocador de calor recebe o gás, em que há a liberação de calor para uma fonte fria externa, de modo que o ar volte ao seu estado inicial. Este último ciclo pode ser utilizado em uma usina termoelétrica.

O ciclo fechado também se tornou importante em reatores nucleares. Nele, o calor é transferido, diretamente ou através de um segundo fluido, do combustível no reator nuclear ao fluido de trabalho do ciclo e é rejeitado do fluido de trabalho para o meio envolvente.

Um destino diferente é a do Turbojato - propulsão a ar, onde a expansão na turbina produz o tanto de trabalho que é necessário para adicionar o compressor e a eventual Turbofan (ou ventilador). O restante de energia contida no fluido vem gasta para fazer acelerar esse mesmo fluido dentro de um bocal e produzir, como consequência, um impulso para frente que faz mover o avião. Entre as muitas características importantes de Turbina a gás (TAG), é ser capaz de desenvolver a energia específica a uma elevada eficiência de propulsão, o que os torna muito adequados para a propulsão a Jato.

REFERÊNCIAS

BECK, Douglas Stephen (1996). Gas-Turbine Regenerators. New York: Chapman & Hall. pp. 235–237

Borgnakke, Claus. Fundamentos da termodinâmica/ Claus Borgnakke, Richard E. Stonntag; tradução da 7ª edição americana - - São Paulo: Blucher, 2009.

C. Lichty, Lester (2017). Combustion Engine Processes. [S.l.]:, McGraw-Hill,Inc.

Moran, Michael J. Princípios da termodinâmica para engenharia/ Michael J. Moran, Howard N. Shapiro; tradução e revisão técnica Gisele Maria Ribeiro Vieira. - [Reimpr.]. - Rio de Janeiro: LTC, 2011.

POTTER, Merle C.; SCOTT, Elaine P. (2007). Ciências Térmicas: Termodinâmica, Mecânica dos Fluidos e Transmissão de Calor.

Wylen G., Sonntag R. and Borgnakke C. (2017). Fundamentos da Termodinâmica Clássica. [S.l.]:Edgard Blücher LTDA.

Bellis, Mary. "Invenção e história dos foguetes." ThoughtCo, 28 de agosto de 2019, <<https://www.thoughtco.com/invention-and-history-of-rockets-1992375.>>

Favretto, Tairine "Eolípila de Haron" (2013). Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/51620640/eolipila-heron>> Acesso: agosto de 2019

TEIXEIRA, Mariane Mendes. "História das máquinas térmicas"; *Brasil Escola*. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/historia-das-maquinas-termicas.htm>>

UNICamp. Turbinas a gás e Ciclos (PDF). Disponível em: <http://www.fem.unicamp.br/~franklin/ES672/pdf/turbina_gas_ciclos.pdf>

V. Wylen, Sonntag, C. Borgnakke (8 de Junho de 2006). Fundamentos da Termodinâmica Clássica, Tradução da quarta edição americana. Disponível em: <<http://web.mit.edu/16.unified/www/SPRING/propulsion/notes/node27.html>>

CAPÍTULO 10

INFLUÊNCIA DE CARACTERÍSTICAS SUPERFICIAIS DE GEOSSINTÉTICOS NOS MECANISMOS DE INTERAÇÃO SOLO-REFORÇO

Rodrigo César Pierozan

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil
E-mail: rodrigopierozan@esp.puc-rio.br

Nelson Padrón Sánchez

Universidade de Brasília, Brasília, Brasil
E-mail: nelsonwerpnsn@gmail.com

Gregório Luís Silva Araújo

Universidade de Brasília, Brasília, Brasil
E-mail: gregorio@unb.br

Ennio Marques Palmeira

Universidade de Brasília, Brasília, Brasil
E-mail: palmeira@unb.br

Resumo: Neste trabalho, são apresentados resultados de ensaios de arrancamento de tiras sintéticas em areia uniforme, avaliando-se a ocorrência da mobilização dos reforços ao longo do comprimento dos mesmos e quantificando-se os acréscimos de tensões na massa de solo. As geotiras ensaiadas consistiram em tira sintética convencional e tira sintética com ondulações laterais (alta aderência). Paralelamente, apresenta-se uma avaliação da resistência de interface solo-geossintético por meio de ensaios de plano inclinado, novamente empregando-se areia uniforme. São estudadas geomembranas lisa e texturizadas, permitindo quantificar a influência da textura superficial na resistência mobilizada. De forma geral, os ensaios permitiram observar que determinadas características superficiais dos geossintéticos podem influenciar os mecanismos de interação solo-geossintéticos, como é o caso da presença de ondulações laterais nas tiras sintéticas e de textura superficial nas geomembranas.

Palavras-chave: Geossintéticos; Arrancamento; Plano Inclinado; Geotiras; Geomembranas.

Abstract: Results from pullout tests on synthetic strips within uniform sand are presented in this paper, assessing the mobilization of the reinforcements along their length and evaluating the increase in total stresses within the compacted soil. The studied geostrips consisted of conventional synthetic strips and synthetic strips with lateral ripples (high adherence). In addition, the soil-geosynthetic interface resistance is assessed by ramp tests with the use of a similar uniform sand. Smooth and textured geomembranes are studied, allowing the researches to quantify the influence of the surface texture. In general, the laboratory tests permitted to evaluate the soil-geosynthetics interaction mechanisms, such as stress mobilization and internal displacements on pullout tests and the evaluation of surface features on ramp plane tests.

Keywords: Geosynthetics; Pullout Tests; Inclined Plane Tests; Geostrips; Geomembranes.

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O conhecimento dos mecanismos de interação entre o solo e os geossintéticos é de fundamental importância no dimensionamento de estruturas que empregam esses materiais. No caso de solos reforçados com geossintéticos, entre os ensaios mais comuns para reprodução dos mecanismos de interação que ocorrem em serviço estão os ensaios de arrancamento, nos quais o reforço é instalado na metade da altura de uma caixa preenchida com solo compactado, sendo então aplicado um esforço de arrancamento com velocidade constante (Palmeira, 1987). Por sua vez, ensaios de plano inclinado podem ser utilizados para simular a interação solo-geossintético que ocorre em obras nas quais geomembranas são instaladas sobre taludes.

Determinadas propriedades dos geossintéticos podem influenciar de maneira substancial a performance das estruturas geotécnicas. Na literatura, podem ser encontrados estudos que tratam da resistência ao arrancamento de diferentes tipos de reforços, como é o caso de geogrelhas (e.g. Palmeira, 1987; Palmeira; 2009; Teixeira, 2003; Moraci e Recalcati, 2006; Teixeira et al., 2007; Abdi e Arjomand, 2011; Cardile et al., 2017; Kayadelenet al., 2018), fibras (Tang et al., 2016), tiras metálicas (Weldu et al., 2015; Pierozan, 2018) e tiras sintéticas (Abdelouhab et al., 2010; Abdelouhab et al., 2011; Panah et al., 2015; Pierozan, 2018).

Por sua vez, a resistência de interface solo-geomembrana vem sendo estudada por vários autores por meio de ensaios de plano inclinado (e.g. Girard et al., 1990; Gourc et al., 1996; Lalarakotoson et al., 1999; Melo, 2001; Viana, 2007; Palmeira, 2009; Pitanga et al., 2011; Monteiro, 2014; Pierozan et al., 2018; Sánchez, 2018). Contudo, os mecanismos de interação desses materiais não estão totalmente compreendidos, havendo a demanda por estudos que relacionem características superficiais e geométricas dos geossintéticos com os parâmetros que podem ser avaliados por meio dos ensaios.

Considerando o panorama geral apresentado, na presente pesquisa foram realizados ensaios de arrancamento de tiras sintéticas e ensaios de plano inclinado com o uso de geomembrana lisa e de geomembranas texturizadas. Em ambos os casos, os materiais de aterro corresponderam a areias uniformes. O objetivo destes

estudos foi compreender como características superficiais e geométricas dos geossintéticos influenciaram os parâmetros avaliados.

1.2 ENSAIOS DE ARRANCAMENTO

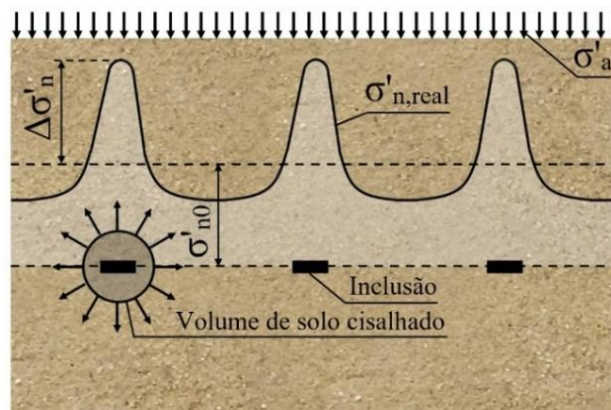
Solo mecanicamente estabilizado do tipo terra armada é um sistema de construção de estruturas de contenção em que elementos resistentes à tração (tiras) aumentam a resistência interna do solo, reduzindo a deformabilidade do maciço (ABNT, 2016a). Tiras de aço galvanizado e tiras poliméricas podem ser utilizadas como reforço neste tipo de estrutura, entre outras possibilidades comerciais. No caso das tiras sintéticas, as tensões e os deslocamentos são gradualmente mobilizados da parte frontal para a parte traseira da tira (Abdelouhab et al., 2010).

A resistência ao arrancamento de interface solo-reforço é definida por uma envoltória não-linear que varia em função das tensões confinantes (Abdelouhab *et al.*, 2011), sendo que o coeficiente de atrito real solo-reforço na interface (f) pode ser expresso conforme a Equação 1, na qual $\tau_{m\acute{a}x}$ corresponde à tensão cisalhante máxima que ocorre ao longo dos reforços e $\sigma'_{n,real}$ corresponde à tensão normal real que ocorre no nível dos reforços, ou seja, corresponde à soma da tensão normal efetiva atuante no nível dos reforços (σ'_{n0}) com o acréscimo localizado de tensões verticais efetivas sobre as tiras ($\Delta\sigma'_n$).

$$f = \frac{\tau_{m\acute{a}x}}{\sigma'_{n,real}} = \frac{\tau_{m\acute{a}x}}{\sigma'_{n0} + \Delta\sigma'_n} \quad (1)$$

O acréscimo localizado de tensões verticais efetivas ($\Delta\sigma'_n$) ocorre em função da diferença de rigidez entre o solo e as tiras, podendo também haver influência da dilatância impedida, quando o solo presente na interface solo-reforço é impedido de se dilatar por estar confinado (Teixeira, 2003). O fenômeno em questão encontra-se esquematizado na Figura 1, onde σ'_a corresponde à tensão normal atuante.

Figura 1: Efeito da dilatância impedida em solo granular



Fonte: (adaptado de Schlosser e Elias, 1978)

Em virtude da dificuldade em se prever o aumento localizado das tensões verticais ($\Delta\sigma'_n$), os métodos tradicionais de avaliação da interação solo-reforço trabalham com um coeficiente de atrito aparente (f^*), o qual é calculado com base na tensão cisalhante máxima apresentada pelos reforços ($T_{m\acute{a}x}$) e nas tensões normais efetivas atuantes no nível do reforço (σ'_{n0}), conforme a Equação 2:

$$f^* = \frac{F_{m\acute{a}x}}{2 \cdot \sigma'_{n0} \cdot W_g \cdot L_e} \quad (2)$$

Em que, $F_{m\acute{a}x}$ é a força máxima de arrancamento (kN), σ'_{n0} é a tensão normal efetiva (kN/m²), W_g é a largura do reforço e L_e é o comprimento ancorado do reforço (m).

1.3 ENSAIOS DE PLANO INCLINADO

Ensaio de plano inclinado podem apresentar algumas vantagens em relação aos ensaios de cisalhamento direto de interface, pois permitem que as condições simuladas sejam mais próximas do que ocorre em campo (e.g. permitem o uso de baixas tensões normais, permitem o uso de amostras de grandes dimensões, permitem a avaliação do deslocamento da caixa em função do ângulo de inclinação do plano, permitem a caracterização das interfaces nas fases estática, transitória e de deslizamento).

Neste tipo de ensaio, são esperados três categorias de resultados (Gourc et al., 1996), que são: i) Categoria 1, denominada ruptura abrupta, a qual ocorre com 1 a 2

mm de deslocamento; ii) Categoria 2, denominada movimento lento, em que se observam deslocamentos até 7 mm antes da ruptura; e iii) Categoria 3, na qual o atrito inicial difere do atrito final durante a ruptura. Na categoria 3, são observados patamares no gráfico da inclinação *versus* deslocamento relativo da caixa, pois, durante a elevação da rampa, a caixa pode permanecer estática durante determinados intervalos de inclinação.

Segundo a NBR ISO 12957-2 (ABNT, 2013), podem ser adotadas duas metodologias de ensaio, que são (1) equipamento com base rígida (rugosa, uso de lixa de esmeril abrasiva P100) e (2) equipamento com base preenchida com solo. Ainda de acordo com essa norma, os ângulos de atrito e a adesão são determinados de acordo com a envoltória de Mohr-Coulomb, de forma análoga aos ensaios de cisalhamento direto, considerando-se que a ruptura ocorre para deslocamento relativo da caixa igual a 500 mm.

Cabe salientar que a resistência de interface solo-geomembrana está relacionada com as características microtopográficas da superfície do geossintético em questão, entre outros fatores (e.g. características do agregado). Quanto maior a altura de aspereza, maior tende a ser a resistência de cisalhamento da interface. Entretanto, alturas de aspereza superiores a 0,5 mm não tendem a gerar um ganho significativo de força cisalhante (Blond e Elie, 2006).

2. MATERIAIS

2.1 MATERIAIS GEOTÉCNICOS

Na Tabela 1, estão apresentadas as principais propriedades geotécnicas das areias ensaiadas, e na Figura 2, apresentam-se as respectivas curvas granulométricas. A areia 1 foi utilizada nos ensaios de arrancamento, enquanto a areia 2 foi utilizada nos ensaios de plano inclinado.

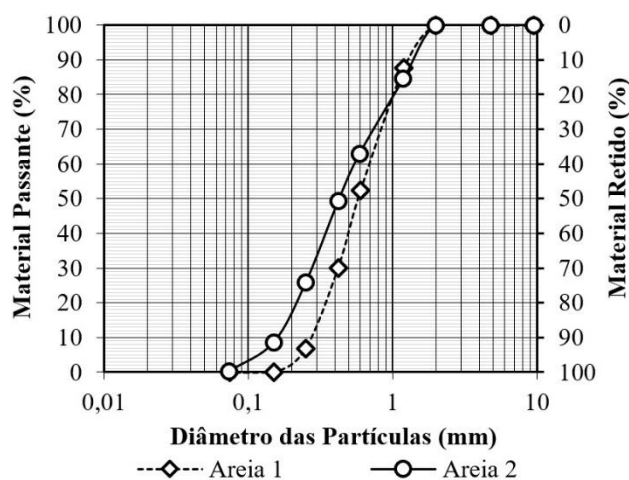
Tabela 1: Propriedades geotécnicas das areias uniformes

Parâmetro	Areia 1	Areia 2	Unidade
Massa específica dos sólidos	2,64	2,71	g/cm ³
Índice de vazios mínimo (e_{\min})	0,576	0,588	-
Índice de vazios máximo (e_{\max})	0,827	0,860	-
Compacidade relativa	95	57	%
Massa específica aparente seca no ensaio	1,66	1,59	g/cm ³
Índice de vazios do ensaio	0,593	0,705	-

Fonte: Os autores

A massa específica dos sólidos foi determinada com base na NBR 6508 (ABNT, 1984), enquanto que os ensaios de granulometria seguiram as recomendações da NBR 7181 (ABNT, 2016b). Os índices de vazios mínimo e máximo foram determinados, respectivamente, seguindo-se as recomendações presentes nas normas D4253-16 (ASTM, 2016a) e D4254-16 (ASTM, 2016b).

Figura 2: Curvas granulométricas das areias uniformes



Fonte: Os autores

No caso dos ensaios de arrancamento, a compacidade relativa adotada nos ensaios correspondeu a 95%, sendo este valor sugerido pela NBR 19286 (ABNT,

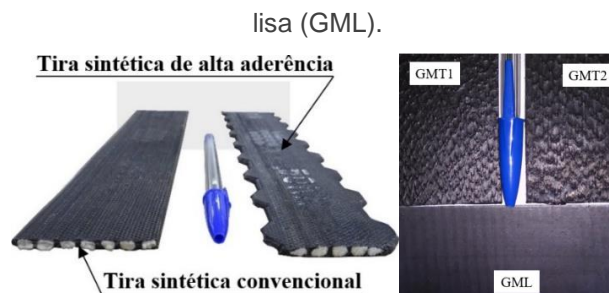
2016a) para solos reforçados. Por sua vez, no caso dos ensaios de plano inclinado, a compactação relativa correspondeu a 57%, uma vez que os materiais empregados neste tipo de obra usualmente possuem compactação média.

Ensaio de cisalhamento direto convencional (ASTM, 2011) foram usados na determinação dos ângulos de atrito internos das areias na compactação relativa de ensaio, obtendo-se parâmetros médios de pico iguais a 37° no caso da Areia 1 e 39° no caso da Areia 2.

2.2 GEOSSINTÉTICOS

No caso dos ensaios de arrancamento, foram ensaiadas tiras sintéticas convencionais (largura igual a 50 mm) e tiras sintéticas de alta aderência (largura variável entre 40 a 50 mm, com ondulações nas extremidades laterais), conforme a Figura 3A. Ambos elementos possuem espessura igual a 3 mm e resistência característica à tração igual a 50 kN.

Figura 3: (A) Tiras sintéticas ensaiadas ao arrancamento; (B) geomembranas texturizadas (GMT) e lisa (GML).



Fonte: Os autores

Por sua vez, os geossintéticos ensaiados em plano inclinado corresponderam a uma geomembrana lisa (GML) e a duas geomembranas texturizadas (GMT1 e GMT2), conforme imagens apresentadas na Figura 3B. As principais características destes elementos estão indicadas na Tabela 2, conforme os fornecedores, em que RT é a resistência à tração na ruptura, ϵ é a deformação na ruptura e RP é a resistência ao puncionamento.

Tabela 2: Características das geomembranas empregadas

Características	Valores especificados		
	GML	GMT1	GMT2
Material	PEAD	PEAD	PEBDL
Matriz	-	Balão	Balão
Espessura média (mm)	1,99	2,00	2,00
Altura da textura (mm)	0,00	0,32	0,52
RT (kN/m)	55	48	54
ε (%)	729	545	595
RP (N)	693	737	636

Fonte: Os autores

O estudo das características geométricas superficiais das geomembranas foi feito por meio de microscopia eletrônica, sendo determinadas as características apresentadas na Tabela 3 (ABNT, 2002), em que R_c corresponde à altura de aspereza e V_{vc} corresponde ao volume de vazios superficial do material da geomembrana, indicando o volume de solo que pode preencher o espaço deixado entre as alturas de aspereza. Esses parâmetros foram determinados a partir da média de valores em 10 seções transversais para cada uma das amostras.

Tabela 3: Parâmetros geométricos da rugosidade

Parâmetros	GML	GMT1	GMT2
R_c (μm)	29,269	214,265	243,843
V_{vc} ($\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$)	6,158	104,766	122,992

Fonte: Os autores

3. MÉTODOS DA PESQUISA

3.1 ENSAIOS DE ARRANCAMENTO

O solo utilizado nos ensaios de arrancamento correspondeu à Areia 1. A montagem dos ensaios envolveu a deposição da areia uniforme com o uso da técnica conhecida como chuva de areia (Brandon *et al.*, 1991). Na sequência, foi feita

compactação adicional com o uso de martelo mecânico, atingindo-se compacidade relativa igual ou superior a 95%. Os procedimentos em questão foram feitos em seis camadas com espessura final de 9 cm. As tiras sintéticas foram instaladas aos pares com uma distância de 5 cm entre si (Abdelouhab et al., 2010).

As tensões normais no nível dos reforços (σ'_{n0}) corresponderam a 12,5 kPa, 25 kPa e 50 kPa. A aplicação das sobrecargas (σ'_a) foi feita com o uso de bolsa de borracha pressurizada. A instrumentação consistiu em célula de carga (CC), transdutores de deslocamento linear (TDL) acoplados aos medidores de deslocamento internos (*tell-tales* - TT) e células de tensões totais (CTT), instaladas nas posições mostradas nas Figuras 4A e 4B. As leituras da instrumentação foram adquiridas com o uso do sistema LYNX. O arrancamento foi feito com taxa de deslocamento constante e igual a 1 mm/min \pm 10%, sendo este o valor recomendado pela norma D6706-01 (ASTM, 2013).

3.2 ENSAIOS DE PLANO INCLINADO

O solo utilizado nos ensaios de plano inclinado correspondeu à Areia 2. A velocidade de elevação do plano foi igual a $3\pm 0,5$ graus por minuto. As tensões normais aplicadas inicialmente foram iguais a 2 kPa, 4 kPa e 6 kPa.

O critério de finalização dos ensaios foi o deslocamento horizontal da caixa igual a 50 mm. A mesma possuiu comprimento igual a 192 cm e largura igual a 47 cm, sendo preenchida com areia em contato com a geomembrana, no plano de cisalhamento. As leituras da instrumentação também foram adquiridas com o uso do sistema LYNX (Figuras 4C e 4D). As tensões normal e cisalhante ($\sigma(\eta,\beta)$ e $\tau(\eta,\beta)$) foram calculadas seguindo-se as equações sugeridas pela NBR ISO 12957-2 (ABNT, 2013). A ancoragem da geomembrana foi garantida mediante o uso de garras metálicas na extremidade superior, além de lixa sobre a base rígida em contato com a superfície inferior da geomembrana. A eficiência do sistema foi comprovada mediante uma célula de carga solidária à garra superior, a qual registrou valores nulos de tração na geomembrana.

4. RESULTADOS

4.1 ENSAIOS DE ARRANCAMENTO

Na Figura 5, estão apresentadas as forças máximas de arrancamento ($F_{\text{máx}}$) e os coeficientes de atrito aparente (f^*) calculados com base nos ensaios de arrancamento.

Figura 4: Posicionamento dos instrumentos nos ensaios de arrancamento e de plano inclinado

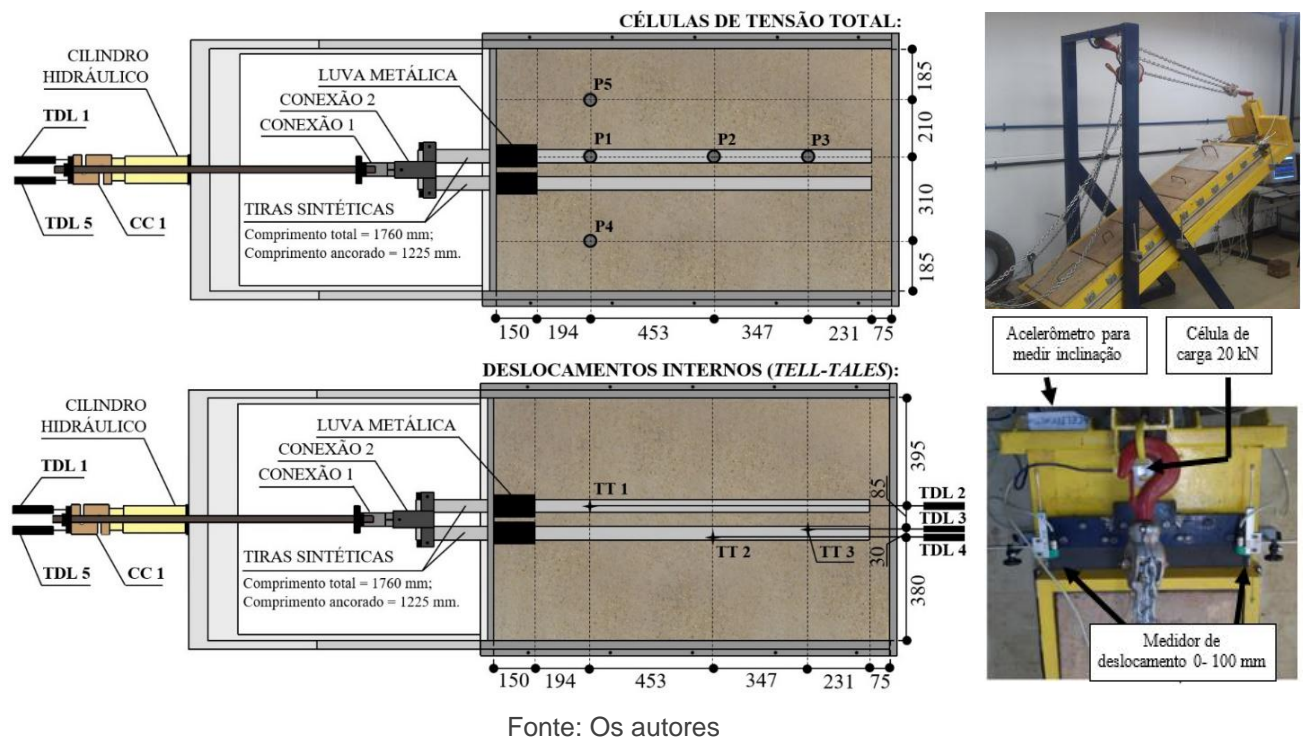
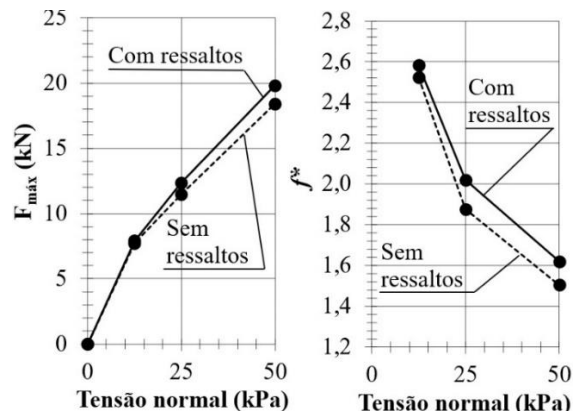
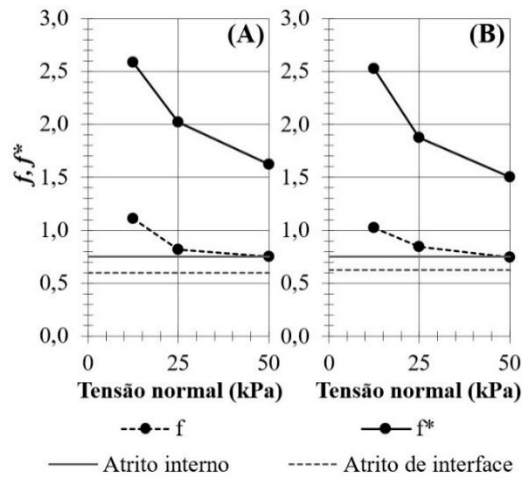


Figura 5: Tensões normais em relação (A) às forças máximas e (B) aos coeficientes de atrito aparente



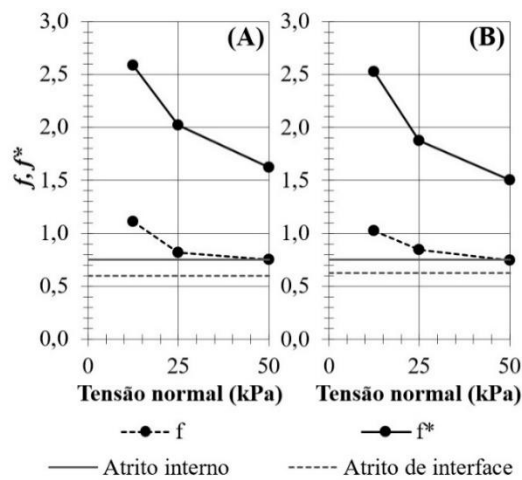
Na Figura 6, estão representados os deslocamentos internos dos reforços (*tell-tales* - TT 1, TT 2 e TT 3), enquanto que na Figura 7 estão apresentados os coeficientes de atrito real (f), ambos no momento de pico de resistência.

Figura 6: Deslocamento internos das tiras sintéticas (A) convencionais e (B) de alta aderência



Fonte: Os autores

Figura 7: Coeficientes f e f^* das tiras sintéticas (A) de alta aderência e (B) convencionais



Fonte: Os autores

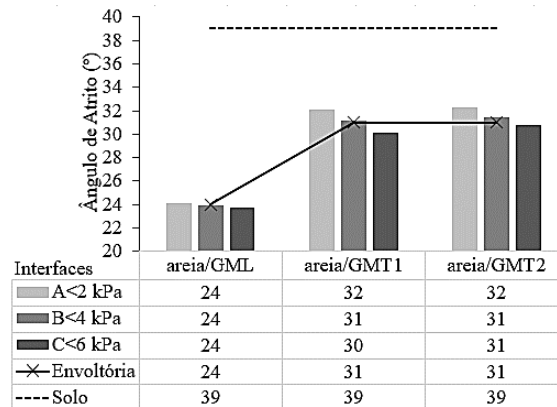
Os acréscimos de tensões verticais ($\Delta\sigma'_n$) utilizados no cálculo do parâmetro f considerou as leituras das células de tensões totais instaladas sobre as tiras sintéticas nas posições P1, P2 e P3.

4.2 ENSAIOS DE PLANO INCLINADO

Na Figura 8, estão apresentados os resultados dos ensaios de plano inclinado. Nas colunas, estão apresentados os ângulos de atrito médios correspondentes às

tensões normais ensaiadas. A linha tracejada indica o ângulo de atrito interno do solo, e em linha contínua indica-se o ângulo de atrito da envoltória.

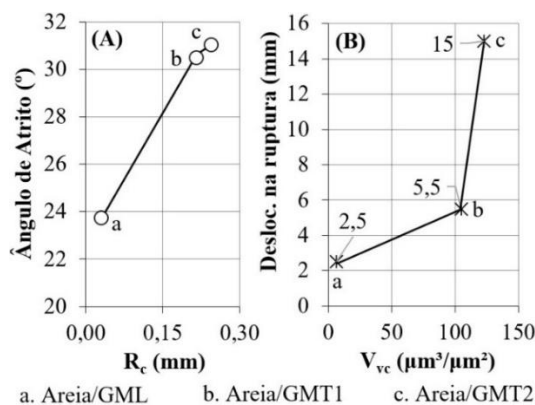
Figura 8: Ensaio de plano inclinado: ângulos de atrito de interface



Fonte: Os autores

Na Figura 9A, pode-se observar a influência da altura das asperezas (R_c) no ângulo de atrito das envoltórias para as três interfaces, enquanto que os deslocamentos médios na ruptura e o volume de vazios superficial do material das geomembranas (V_{vc}) estão representados na Figura 9B.

Figura 9: Ensaio de plano inclinado: (A) influência da R_c no ângulo de atrito e (B) deslocamentos na ruptura



Fonte: Os autores

5. DISCUSSÃO

5.1 ENSAIOS DE ARRANCAMENTO

Com base na Figura 5, foi possível observar que a presença de ondulações laterais nas tiras sintéticas de alta aderência contribuiu para o aumento da interação com a areia uniforme em relação às tiras sintéticas convencionais. Foram observados esforços máximos de arrancamento ($F_{\text{máx}}$) e, conseqüentemente, coeficientes de atrito aparente (f^*) superiores nos casos dos reforços com ondulações laterais. Entretanto, convém salientar que a diferença observada foi pequena, cabendo ao engenheiro projetista avaliar o elemento mais adequado em função dos materiais geotécnicos empregados na obra.

Por sua vez, com base nas curvas que relacionam os deslocamentos internos medidos pelos tell-tales no momento de pico de resistência com as tensões normais (Figura 6), observa-se que as tiras sintéticas foram solicitadas progressivamente a partir da face até a extremidade oposta ao longo dos ensaios.

Com base na Figura 7, observa-se que os coeficientes de atrito real solo-reforço (f) possuem valores inferiores aos coeficientes de atrito aparente solo-reforço (f^*), uma vez que o cálculo do atrito real leva em consideração a tensão normal que efetivamente está ocorrendo no nível do reforço ($\sigma'_{n,\text{real}}$). Os coeficientes de atrito real solo-reforço (f) se aproximaram da tangente do ângulo de atrito interno, sendo este o valor sugerido pelas normas brasileira NBR 19286 (ABNT, 2016) e francesa NF P94-270 (Norme Française, 2009) para o cálculo do parâmetro f_1^* , o qual desconsidera os acréscimos localizados de tensões verticais. Entretanto, a consideração da tangente do ângulo de atrito de interface representa melhor a situação que ocorre em campo.

5.2 ENSAIOS DE PLANO INCLINADO

Os ângulos de atrito das interfaces ensaiadas nos ensaios de plano inclinado mostram-se relacionados com a microtopografia das geomembranas, assim como os deslocamentos na ruptura. Como esperado, as geomembranas texturizadas foram mais eficientes em relação à geomembrana lisa (Figura 8).

Com base na Figura 9, pode-se observar que o aumento da altura de aspereza das geomembranas resultou no aumento dos ângulos de atrito interno de interface. Comparando-se as geomembranas GMT1 e GMT2, o aumento de aproximadamente 0,03 mm na altura de aspereza não resultou em acréscimo significativo no ângulo de atrito. A diferença entre a altura de aspereza (ΔR_c) das geomembranas GMT1 ($R_c = 2,1$) e GMT2 ($R_c = 2,4$) foi igual a 0,3, sendo que este valor se aproxima do valor de

0,5 mm sugerido por Blond e Elie (2006). Este resultado pode estar relacionado à proximidade entre as alturas de aspereza das geomembranas texturizadas ensaiadas, entre outros aspectos, como é o caso da influência do formato das asperezas.

Embora os ângulos de atrito das interfaces entre a areia e as geomembranas texturizadas (GMT1 e GMT2) sejam aproximadamente 31° , houve uma diferença mais considerável nos deslocamentos de ruptura nas interfaces areia-geossintético. Dessa forma, pode-se observar que, embora as alturas de aspereza compreendidas no intervalo entre 2,1 a 2,4 tenham conduzido a ângulos de atrito semelhantes, a influência das mesmas é maior quando se consideram os deslocamentos de ruptura. Resultados similares em interfaces com argila foram descritos por Fowmes *et al.* (2017).

6. CONCLUSÃO

Conclui-se que determinadas características dos geossintéticos contribuem para a mobilização da resistência de interface com o solo, como é o caso da presença de ondulações nas tiras sintéticas e de textura superficial em geomembranas. Com base nos ensaios de arrancamento, observou-se que a presença de ondulações laterais contribuiu com o aumento da resistência ao arrancamento e com a consequente diminuição dos deslocamentos internos. Os coeficientes de atrito reais se aproximaram da tangente do ângulo de atrito considerado. Por sua vez, no caso dos ensaios de plano inclinado, observou-se que a presença de textura superficial nas geomembranas resultou no aumento da resistência ao cisalhamento de interface em relação à geomembrana lisa. A presença de textura superficial resultou em um acréscimo de aproximadamente 7° no ângulo de atrito de interface, em relação à geomembrana lisa. Comparando-se as geomembranas texturizadas entre si, observou-se que o espaçamento entre os elementos de textura superficial, apesar de possuírem pequena influência no ângulo de atrito, apresentam grande influência nos deslocamentos de ruptura. Detalhes adicionais podem ser consultados em Pierozan (2018) e Sánchez (2018).

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao PPG-UnB, à CAPES e ao CNPq. Os autores também gostariam de agradecer ao Regeo 2019 (VIII Congresso Brasileiro de Geossintéticos) pela divulgação inicial dos resultados da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Abdelouhab, A., Dias, D. & Freitag, N. (2010). *Physical and Analytical Modelling of Geosynthetic Strip Pull-Out Behaviour*. *Geotextiles and Geomembranes*, 28(1): 44-53.
- Abdelouhab, A., Dias, D. & Freitag, N. (2011). *Numerical Analysis of the Behaviour of Mechanically Stabilized Earth Walls Reinforced With Different Types of Strips*. *Geotextiles and Geomembranes*, 29(2): 116-129.
- Abdi, M.R. & Arjomand, M.A. (2011). *Pullout Tests Conducted on Clay Reinforced with Geogrid Encapsulated in Thin Layers on Sand*. *Geotextiles and Geomembranes*, 29(6): 588-595.
- ABNT (1984). NBR 6508: *Grãos de Solos que Passam na Peneira de 4,8 mm – Determinação da Massa Específica*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 8 p.
- ABNT (2002). NBR ISO 4287: *Especificações geométricas do produto (GPS) - Rugosidade: Método do perfil - Termos, definições e parâmetros da rugosidade*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 18p.
- ABNT (2013). NBR ISO 12957-2: *Geossintéticos - Determinação das características de atrito. Parte 2: Ensaio de Plano Inclinado*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 12p.
- ABNT (2016a). NBR 19286: *Muros em Solos Mecanicamente Estabilizados*. Associação Brasileira de Normas Técnicas Rio de Janeiro, Brasil, 22 p.
- ABNT (2016b). NBR 7181: *Solo – Análise Granulométrica*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, Brasil, 12 p.
- ASTM (2011). ASTM D3080/ASTM D3080M-11: *Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions*. American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, USA, 9 p.
- ASTM (2013). ASTM D6706-01: *Standard Test Method for Measuring Geosynthetic Pullout Resistance in Soil*. American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, USA, 8 p.
- ASTM (2016a). ASTM D4253-16: *Standard Test Methods for Maximum Index Density and Unit Weight of Soils Using a Vibratory Table*. American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, USA, 14 p.
- ASTM (2016b). ASTM D4254-16: *Standard Test Methods for Minimum Index Density and Unit Weight of Soils and Calculation of Relative Density*. American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, USA, 9 p.
- Blond, E. & Elie, G. (2006). *Interface shear-strength properties of textured*

polyethylene geomembranes. Solmax International, Quebec, Canada, 7p.

Brandon, T.L., Clough, G.W. & Rahardjo, P.P. (1991). *Fabrication of Silty Sand Specimens for Large- and Small-Scale tests*. *Geotechnical Testing Journal*, 14(1): 46-55.

Cardile, G., Giofrè, D., Moraci, N. & Calvanaro, L.S. (2017). *Modelling Interference Between the Geogrid Bearing Members Under Pullout Loading Conditions*. *Geotextiles and Geomembranes*, 45(3): 169-177.

Fowmes, G.J., Dixon, N., Fu, L. & Zaharescu, C.A. (2017). *Rapid prototyping of geosynthetic interfaces: investigation of peak strength using direct shear tests*. *Geotextiles and Geomembranes*, 45(6): 674–687.

Girard, H., Fischer, S. & Alonso, E. (1990). *Problems of friction posed by the use of geomembranes on dam slopes - examples and measurements*. *Geotextiles and Geomembranes*, 9(2): 129 -143.

Gourc, J.P., Lalarakotoson, S., Müller-Rochholz, H. & Bronstein, Z. (1996). *Friction measurement by direct shearing or tilting process - development of an european standard*. *First European Geosynthetics Conference. EUROGEO 1*. Balkema, Rotterdam, 3(1):1039-1046.

Kayadelen, C., Önal, T.Ö & Altay, G. (2018). *Experimental Study on Pull-Out Response of Geogrid Embedded in Sand*. *Measurement*, 117(1): 390-396.

Lalarakotoson, S., Villard, P. & Gourc, J.P. (1999). *Shear strength characterization of geosynthetic interfaces on inclined planes*. *Geotechnical Testing Journal*, 22(4): 284–291.

Mello, L.G.R. (2001). *Estudo da interação solo-geossintético em taludes de obras de disposição de resíduos*. Dissertação de Mestrado, PPG-UnB, Brasília, Brasil. 137p.

Monteiro, C.B., Araújo, G.L.S. & Palmeira, E.M. (2014). *Friction measurement by direct shearing or tilting process - getinfo*. 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris, 4(1): 3053-3056.

Moraci, N. & Recalcati, P. (2006). *Factors Affecting the Pullout Behaviour of Extruded Geogrids Embedded in a Compacted Granular Soil*. *Geotextiles and Geomembranes*, 24(4): 220-242.

Norme Française. (2009). NF P94-270. *Calcul Géotechnique – Ouvrages de Soutènement – Remblais Renforcés et Massifs en Sol Cloué*. CSTB Éditions, France, 205 p.

Palmeira, E.M. (1987). *The Study of Soil-Reinforcement Interaction by Means of Large Scale Laboratory Tests*. Tese de Doutorado, University of Oxford, Inglaterra, 237 p.

Palmeira, E.M. (2009). *Soil–geosynthetic interaction: modelling and analysis*.

Geotextiles and Geomembranes, 27(5): 368–390.

Panah, A.K., Yazdi, M. & Ghalandarzedeh, A. (2015). *Shaking Table Tests on Soil Retaining Walls Reinforced by Polymeric Strips*. GeotextilesandGeomembranes, 43(2):148-161.

Pierozan, R.C. (2018). *Estudo da Resistência de Interface de Tiras Metálicas e Poliméricas em Diferentes Solos*. Tese de Doutorado, PPG-UnB, Brasília, DF, 287 p.

Pierozan, R.C.; Sánchez, N.P.; Araujo, G.L.S.; Palmeira, E.M. (2018). *Resistência ao cisalhamento e ao arrancamento entre geossintéticos e tiras metálicas lisas em areias*. Revista Fundacoes & Obras Geotecnicas, 92(1): 30-36.

Pitanga, H.N., Gourc, J.P., Vilar, O.M. (2011). *Enhanced measurement of geosynthetic interface shear strength using a modified inclined plane device*. ASTM geotechnical testing journal, 34(6): 643–652.

Tang, C.S., Li, J., Wang, D.Y. & Shi, B. (2016). *Investigation on the Interfacial Mechanical Behavior of Wave-Shaped Fiber Reinforced Soil by Pullout Test*. Geotextiles and Geomembranes, 44(6): 872-883.

Teixeira, S.H.C. (2003). *Estudo da Interação Solo-Geogrelha em Testes de Arrancamento e sua Aplicação na Análise e Dimensionamento de Maciços Reforçados*. Tese de Doutorado, EESC/USP, São Carlos, São Paulo, 218 p.

Teixeira, S.H.C., Bueno, B.S. & Zornberg, J.G. (2007). *Pullout Resistance of Individual Longitudinal and Transverse Geogrid Ribs*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 133(1): 37-50.

Sánchez, N.P. (2018). *Estudo de alguns aspectos que influenciam a aderência entre geossintéticos e diferentes materiais*. Tese de Doutorado, PPG-UnB, Brasília, 168 p.

Viana, H.N.L. (2007). *Estudos da estabilidade e condutividade hidráulica de sistemas de revestimento convencionais e alternativos para obras de disposição de resíduos*. Tese de Doutorado, PPG-UnB, Brasília, Brasil, 259p.

Weldu, M.T., Han, J.H., Rahmaninezhad, S.M., Parsons, R.L. & Kakrasul, J.I. (2015). *Pullout Resistance of Mechanically Stabilized Earth Wall Steel Strip Reinforcement in Uniform Aggregate*. Kansas Department of Transportation, Kansas City, USA, 44 p.

CAPÍTULO 11

CONVERSOR CC/CC BIDIRECIONAL PUSH-PULL TRIFÁSICO / FLYBACK PARA APLICAÇÃO EM ACUMULADORES DE ENERGIA E FONTES RENOVÁVEIS

Menaouar Berrehil El Kattel

Universidade Federal de Minas Gerais-UFMG

E-mail: berrehilelkattel@gmail.com

Robson Mayer

Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer-CTI

E-mail: rmayer@cti.gov.br

Cristina do Carmo Lucio Berrehil el Kattel

Universidade Estadual de Maringá-UEM

E-mail: cclucio@uem.br

Fernando Ely

Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer-CTI

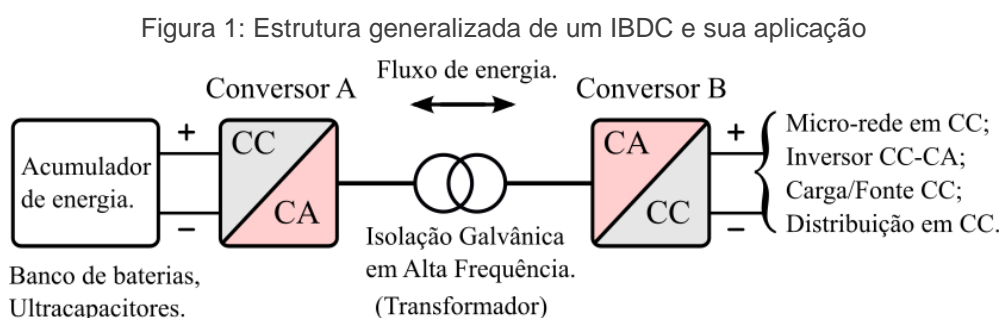
E-mail: fely@cti.gov.br

Resumo: Este trabalho apresenta um novo conversor CC–CC bidirecional tipo Push-Pull/Flyback com isolamento trifásico cuja, em ambos os sentidos de operação do fluxo de energia, são estudados detalhadamente, incluindo a análise teórica e matemática, o ganho estático nos três modos de condução que são modo contínuo, descontínuo e crítico, além de resultados experimentais. O conversor proposto é adequado para o barramento de corrente contínua (CC) em microrredes onde são aplicados acumuladores de energia e fontes em CC do tipo células de combustível, gerador fotovoltaico e turbina eólica. Permite fluxo bidirecional de energia, elevado ganho de tensão e possibilita a integração desses sistemas a baterias e ultracapacitores que apresentam características de baixa tensão de saída e exigem correntes elevadas com baixa ondulação. A viabilidade deste conversor com isolamento galvânica é demonstrada pelos resultados obtidos por meio de um protótipo com potência nominal no sentido direto de 4 kW e eficiência acima de 90,1 %, e potência de 1,3 kW com eficiência de 84,3 % no sentido inverso do fluxo de potência.

Palavras-chave: Conversor CC–CC bidirecional trifásico; Conversor Flyback; Conversor Push-Pull trifásico; Transformador trifásico em alta frequência; Fluxo bidirecional de energia.

1. INTRODUÇÃO

Os conversores bidirecionais de energia podem ser classificados em dois tipos principais: os isolados (Isolated Bidirectional DC-DC Converter - IBDC) e os não isolados (Non-isolated Bidirectional DC-DC Converter - NBDC). Os NBDC são de mais simples implementação em relação aos IBDC e podem alcançar uma melhor eficiência. No entanto, a isolação galvânica é necessária em muitas aplicações, inclusive por questões de segurança para atender as normas técnicas. A maioria das aplicações de IBDCs de média potência tem uma estrutura generalizada semelhante à da Fig. 1. Esta estrutura é constituída por dois conjuntos de elementos semicondutores controlados ou não controlados (conversor A e B) e por um transformador de alta frequência que é usado principalmente para manter o isolamento galvânico entre duas fontes. Este também é essencial para a adequação de tensão e corrente entre duas fontes em alguns casos.



Fonte: [1]

O estudo e aplicação dos Bidirectional DC-DC Converters (BDCs) com transistor para o processamento de baixas potências não é novidade e já vem sendo explorado há várias décadas [2],[3]. No entanto, novas e possíveis aplicações vêm surgindo, e seu estudo vem sendo intensificado [4]. A primeira estrutura do conversor CC-CC trifásico com isolamento galvânico em alta frequência foi apresentado por [5], denominado também de Dual Active Bridge (DAB). O conversor é proposto para aplicações industriais, utiliza a técnica de phase-shift e um transformador conectado em Y-Y, possibilitando fluxo bidirecional de energia em alta potência [6]. O desenvolvimento de estruturas ressonantes deste conversor também impulsionou diversas pesquisas acadêmicas e industriais [7]-[11], com o principal objetivo de obter melhor eficiência e comutação suave do tipo Zero-Voltage-Switching/Zero-Current-

Switching (ZVS / ZCS). No entanto, um inconveniente destes tipos de conversores ressonantes é o elevado esforço de corrente nos interruptores, que podem limitar o nível de potência processada e reduzir o rendimento da estrutura [12]. Esta topologia trifásica também é muito utilizada em diversas aplicações como retificador trifásico com correção do fator de potência e possibilita diferentes conexões do transformador, assim como, a aplicação de filtros na entrada e saída do conversor [13]-[15].

Atualmente, em aplicações onde fontes de baixa tensão e elevada corrente são requeridas, topologias com características de alimentação em corrente e isolamento galvânico, que utilizam transformador trifásico são mais apropriadas e uma alternativa ao clássico conversor DAB trifásico, conforme abordado por [16]-[19]. O conversor possui uma das entradas com características de fonte de corrente e a outra como fonte de tensão, permite aplicar alto ganho de tensão, tem reduzido número de interruptores ativos e um baixo volume de elementos armazenadores de energia (indutor e capacitor) pelo efeito da multiplicação da ondulação de tensão e corrente sobre estes filtros [20]. Outras soluções interessantes são as estruturas trifásicas derivadas do conversor Push-Pull, segundo apresentado em [21], [22]. A característica de entrada desta topologia apresenta o comportamento de um conversor Boost (elevador de tensão) com isolação em alta frequência, permite a utilização de técnicas de comutação não dissipativa e apresenta circuito de potência simples e robusto [23]-[26]. Com o objetivo de contribuir com esta área, em aplicações que exigem potências acima de dezenas de quilowatts, neste trabalho são apresentadas as análises e a verificação experimental da topologia bidirecional proposta, que apresenta como principal contribuição, a bidirecionalidade de energia da topologia Push-Pull trifásica por meio do indutor acoplado de entrada. Esta abordagem demonstra a robustez e simplicidade do circuito testado e oferece uma solução mais econômica na transferência de potência bidirecional, especialmente para sistemas de armazenamento stand by que não são muito exigidos.

2. OBTENÇÃO DO CONVERSOR PROPOSTO

A primeira topologia é gerada com base da referência [27] e ilustrada na Fig. 2a, onde o procedimento é detalhado a seguir:

- 1) Apresenta-se o circuito do conversor CC-CC Push-Pull trifásico alimentado em corrente, como é ilustrado na Fig.2a.

2) O indutor de entrada L é substituído pelo indutor acoplado (T_F) ou transformador flyback, como é apresentado na Fig. 2b.

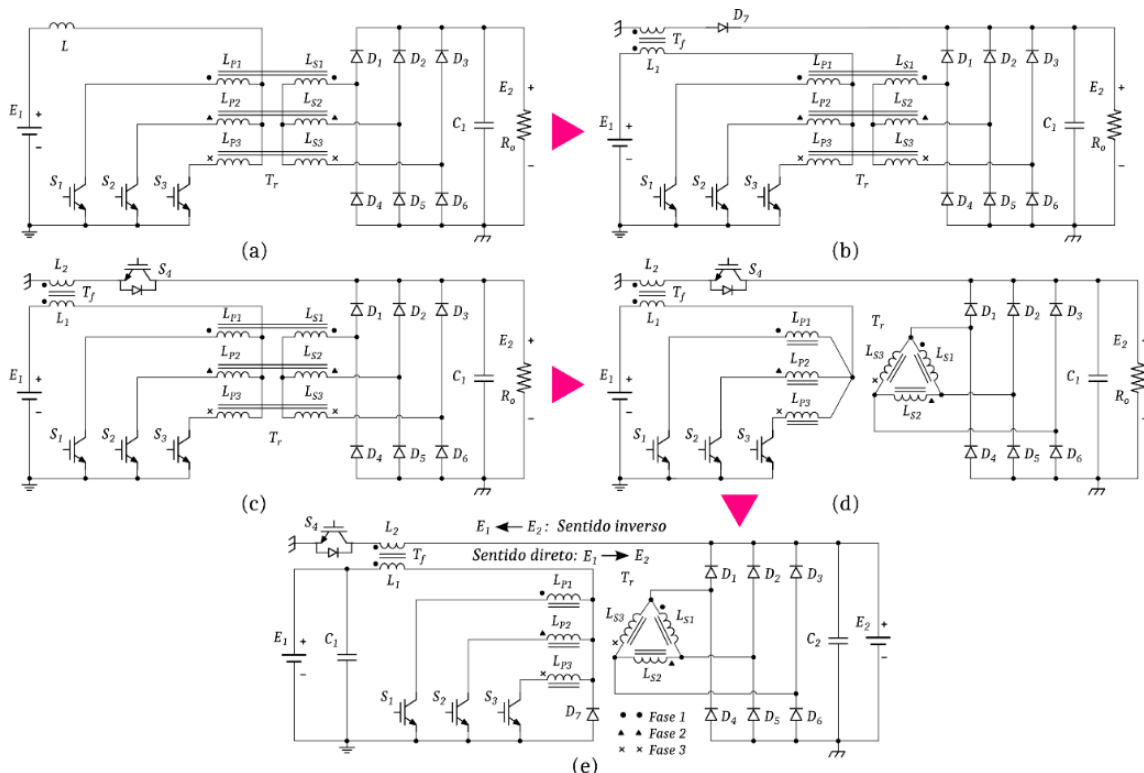
3) O interruptor S_4 é conectado entre o enrolamento secundário do indutor acoplado e o terminal positivo de saída, como mostrado na Fig. 2c.

4) A ligação do transformador $Y:Y$ substituída por $Y:\Delta$ e para que a topologia possa operar com razão cíclica (D) menor que $1/3$ no sentido direto, conforme indicado na Fig. 2d.

5) Conecta-se o capacitor C_1 em paralelo com a fonte E_1 , bem como o diodo D_7 entre o terminal negativo da entrada e o ponto central do transformador T_r . Finalmente obtém-se a estrutura proposta apresentada na Fig. 2e.

O interruptor S_4 é encarregado de regular a transferência da energia armazenada no indutor acoplado para razões cíclicas menores que $1/3$, assim como também de garantir o fluxo bidirecional de energia, e o diodo D_7 é encarregado de retificar a tensão induzida no enrolamento secundário do indutor acoplado, quando o conversor opera no sentido reverso do fluxo de potência. O conversor resultante é apresentado na Fig. 2e, é chamado de conversor CC-CC bidirecional Push-Pull trifásico/ Flyback com isolamento galvânico.

Figura 2: Obtenção do conversor proposto



Fonte: Os autores

3. CONVERTOR PROPOSTO

O conversor proposto permite fluxo bidirecional de energia entre a entrada e a saída, possibilitando conectar dois barramentos CC distintos em aplicações como microrredes, por exemplo. A estrutura proposta, a qual é mostrada na Fig. 2e, é constituída pelos seguintes dispositivos: um indutor acoplado T_f , um transformador trifásico T_r montado a partir de três transformadores monofásicos de ferrite, dois capacitores (C_1 e C_2), quatro interruptores (S_1 - S_4) e sete diodos (D_1 - D_7).

No sentido direto do fluxo de potência a topologia é elevador / abaixador de tensão. O conversor opera de forma análoga a uma topologia Push-Pull trifásico, onde a tensão de saída idealmente pode variar na faixa de 0 até ∞ , correspondendo à faixa de razão cíclica (D) de $0 \leq D \leq 1$. No entanto, para o sentido inverso do fluxo de potência a topologia é abaixadora de tensão, opera como um clássico conversor Flyback, varia a tensão de saída dentro da faixa de 0 até E_2 , a qual corresponde a faixa de variação da razão cíclica de $0 \leq D \leq 0,5$, aplicada ao interruptor S_4 . O indutor acoplado T_f é responsável pelo armazenamento e transferência de energia procedente da fonte E_1 para a fonte E_2 e vice-versa.

A operação no sentido direto é dividida em três regiões de operação de acordo com o valor da razão cíclica D imposta aos interruptores S_1 , S_2 e S_3 , que são: a primeira região denominada R1 que compreende a variação da razão cíclica $0 \leq D < 1/3$, a segunda região denominada R2 que compreende a variação da razão cíclica $1/3 \leq D < 2/3$ e, por fim, a terceira região denominada R3 delimitada em $2/3 \leq D < 1$. A operação no sentido inverso do fluxo de potência é realizada unicamente pelo acionamento do interruptor S_4 e utilizando os indutores acoplados L_1 e L_2 , onde D é limitada em $0 \leq D < 1/2$.

Nas análises e descrição das etapas de funcionamento da topologia proposta, são adotadas as seguintes considerações: 1) O conversor encontra-se operando em regime permanente; 2) Os indutores acoplados são idênticos e possuem fator de acoplamento unitário; 3) O capacitor de saída é suficientemente grande tal que a tensão de saída é considerada constante; 4) Os componentes passivos e ativos são considerados ideais, sem perdas; 5) A frequência de operação dos interruptores é constante com modulação PWM (Pulse Width Modulation); 6) Os pulsos de comando dos interruptores S_1 - S_3 estão defasados em 120° ; 7) O domínio da frequência de

comutação (f_s) é definido como $f_s = 1/T_s$; 8). A relação de transformação do indutor acoplado T_f é definida como $n_s = 1/n'_s = n_{L2}/n_{L1} = \sqrt{L_{L2}/L_{L1}}$ e do transformador trifásico T_r é definida como $n_T = n_{LS1}/n_{LP1} = \sqrt{L_S/L_P}$, onde n_{L2} e n_{L1} são os números de espiras do indutor acoplado L_2 e L_1 respectivamente, e n_{LS1} , n_{LP1} são o número de espiras do enrolamento secundário L_S e primário L_P do transformador.

4. OPERAÇÃO NO SENTIDO DIRETO

Nesta seção, são apresentados os seguintes tópicos para o modo de condução contínuo (MCC), modo de condução descontínuo (MCD) e modo de condução crítico (MCCr), nas regiões de operação R1 e R2: ganho estático; princípios de operação; principais formas de ondas; principais equações do conversor.

4.1 ANÁLISE DAS ETAPAS PARA MCC EM R1 E R2

A operação do conversor proposto em R1 e R2 apresenta seis etapas de operação no MCC em cada região de operação, podendo ser vistas na [Fig. 3](#) e são descritas em detalhes a seguir.

1ª etapa $[t_0 - t_1]$, R1: Esta etapa de operação começa quando o interruptor S_1 é comandado a conduzir no tempo t_0 , a tensão sobre o indutor L_1 é igual $E_1 - (E_2/n_T)$ e a tensão sobre o enrolamento L_{p1} é a tensão de saída refletida para o primário do transformador T_r , e conseqüentemente a corrente que passa pelos diodos D_2 e D_4 possui valor idêntico, e é igual à corrente no indutor L_1 porém dividida pela relação de transformação n_T . Durante esta etapa, o indutor acumula energia até o instante t_1 , em que o interruptor S_1 é comandado a abrir. Neste intervalo a corrente no interruptor S_1 é igual à corrente da fonte de alimentação, conforme apresentado na [Fig. 3a](#). A região de operação é verificada pelas formas de ondas teóricas da [Fig. 4a](#).

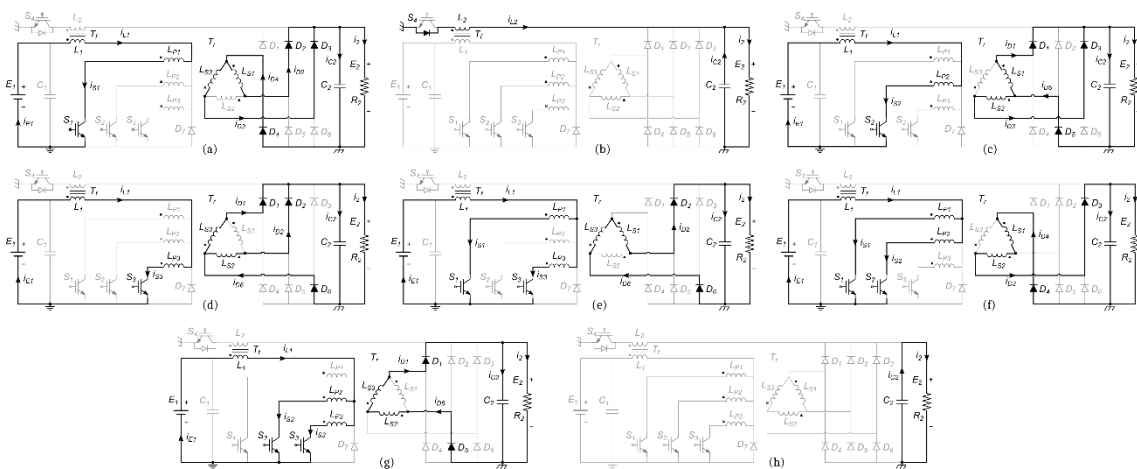
2ª etapa $[t_1 - t_2]$, R1: Quando o interruptor S_1 é comandado a bloquear, a corrente no estágio de entrada se anula. A energia que foi armazenada no indutor L_1 é transferida para a carga através do indutor L_2 e do diodo de S_4 . Neste intervalo de tempo, a tensão aplicada nos terminais de L_1 é igual a $-E_2/n_s$ e a corrente no diodo de S_4 é i_{L1}/n_s . Essa etapa está representada na [Fig. 3b](#), que é finalizada em t_2 com a entrada em condução do interruptor S_2 .

A 4ª e 6ª etapas na região R1 são idênticas à segunda etapa de operação conforme circuito equivalente apresentado na Fig. 3b.

A 3ª e 5ª etapas na região R1 são similares à primeira etapa, com circuito equivalente ilustrado nas Figs. 3c e 3d, respectivamente. A principal diferença entre estas etapas simétricas é a mudança de interruptores que estão em condução e bloqueio. Um período de comutação (T_S) é finalizado no final da sexta etapa no tempo t_6 , onde em t_0 inicia o ciclo novamente.

1ª etapa [$t_0 - t_1$], R2: Os interruptores S_1 e S_3 estão comandados a conduzir, conforme circuito equivalente ilustrado pela Fig. 3e. A tensão sobre L_1 é $V_{L1} = E_1 - E_2/2n_T$ e a tensão sobre o enrolamento primário L_{P1} de T_r é $E_2/2n_T$, conforme apresentado na Fig. 4c. Conseqüentemente, a corrente que circula pelos diodos D_2 e D_6 é igual a $i_{L1}/2n_T$. Durante esta etapa, o indutor acumula energia até o instante t_1 , onde S_3 é comandado a bloquear. Neste instante, a corrente que circula m S_1 e S_3 é igual à metade da corrente da fonte E_1 .

Figura 3: Circuitos equivalentes das etapas de operação no sentido direto em R1 e R2



Fonte: Os autores

2ª etapa [$t_1 - t_2$], R2: Em t_1 , o interruptor S_3 é comandado a bloquear e a corrente em S_1 fica igual à corrente da fonte E_1 , conforme circuito equivalente ilustrado pela Fig. 3a. A energia que foi armazenada em L_1 é transferida para a carga através de L_{S1} , D_2 , D_3 e D_4 , conforme apresentado na Fig. 4c. A tensão aplicada aos terminais de L_1 é $E_1 - E_2/n_T$ e a corrente em D_4 é i_{L1}/n_T . O indutor transfere energia até o instante t_2 , onde S_2 é comandado a conduzir, encerrando esta etapa.

A 3ª e 5ª etapas na região R2 são similares à primeira etapa de operação, conforme circuito equivalente ilustrado pelas Figs. 3f e 3g, respectivamente. No

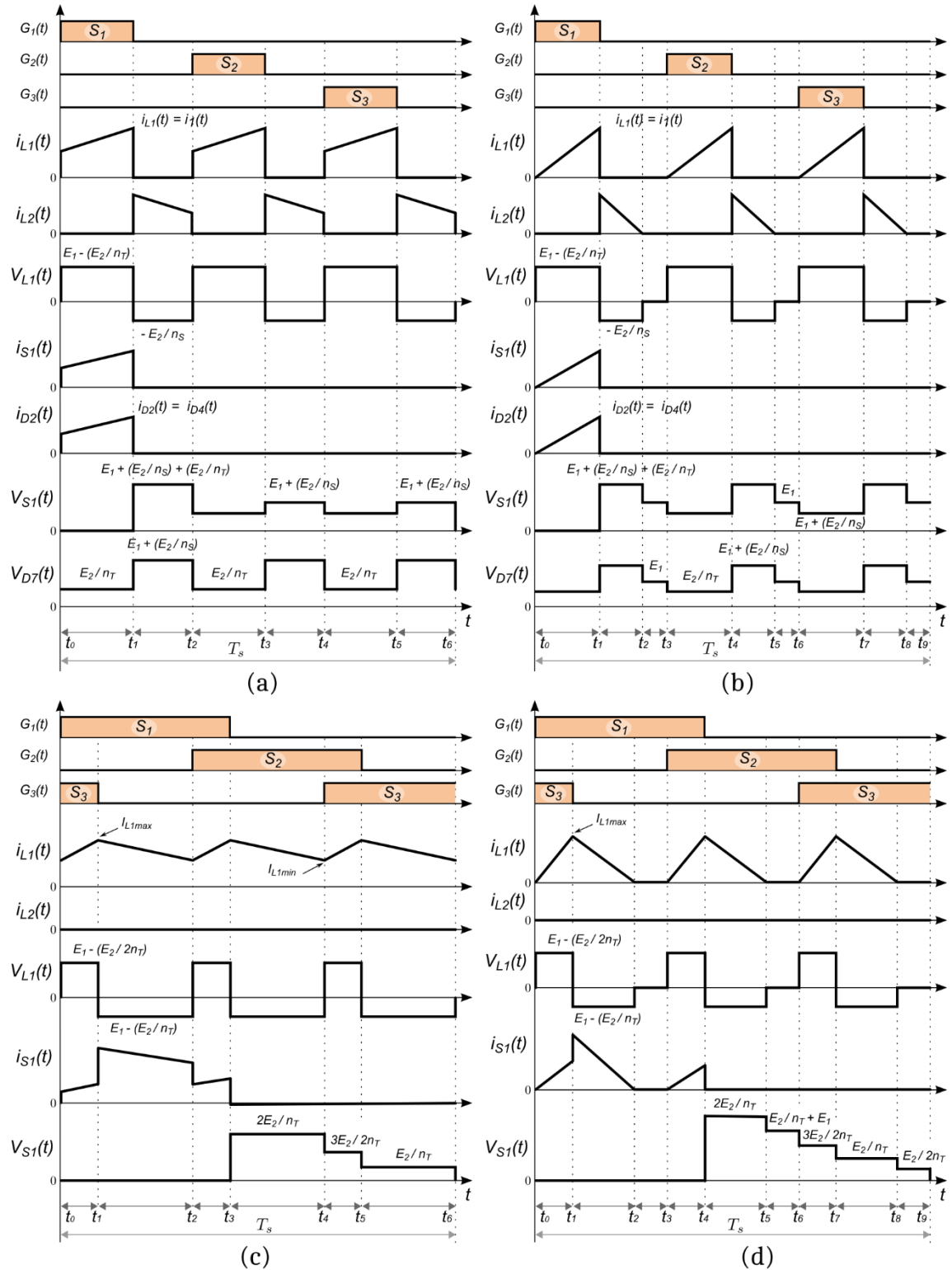
entanto, a 4ª e 6ª etapas são similares à segunda etapa, com circuito equivalente ilustrado pelas Figs. 3c e 3d, respectivamente. A principal diferença entre estas etapas simétricas é a mudança de interruptores que estão em condução e bloqueio. Um período de comutação (T_s) é encerrado no final da sexta etapa no tempo t_6 , onde em t_0 inicia o ciclo novamente.

4.2 GANHO ESTÁTICO EM MCC PARA R1 E R2

A energia armazenada em L_1 durante o intervalo de tempo Δt_1 é transferida para a carga através do mesmo enrolamento durante o intervalo Δt_2 . As formas de ondas teóricas no MCC para ambas regiões de operações estão ilustradas na Figs. 4a e 4c. A expressão que define o ganho estático no MCC para R1 e R2 é obtida a partir do cálculo do valor médio da tensão sobre o indutor L_1 , como mostrado nas Eqs. (1) e (2), respectivamente.

$$V_{L1} = \frac{3}{T_s} \left(\int_0^{\Delta t_1} [E_1 - (E_2/n_T)] dt + \int_0^{\Delta t_2} (-E_2/n_S) dt \right) \text{ para R1} \quad (1)$$

Figura 4: Formas de onda idealizadas para operação no sentido direto do fluxo de potência em R1 e R2: (a) para MCC em R1, (b) para MCD em R1, (c) para MCC em R2, e (d) para MCD em R2



Fonte: Os autores

$$V_{L1} = \frac{3}{T_g} \int_0^{\Delta t_1} \left(E_1 - \frac{E_2}{2n_T} \right) dt + \frac{3}{T_g} \int_0^{\Delta t_2} \left(E_1 - \frac{E_2}{n_T} \right) dt \quad \text{para R2} \quad (2)$$

Verificando a Fig. 4a, sabe-se que $\Delta t_1 = \Delta t_3 = \Delta t_5$ e que $\Delta t_2 = \Delta t_4 = \Delta t_6$, obtemos (3) em função da razão cíclica e do período de comutação.

$$\Delta t_1 = D \cdot T_g; \quad \Delta t_2 = (1 - 3D) \cdot T_g / 3 \quad \text{para R1} \quad (3)$$

Da mesma maneira, a partir da Fig. 4c, sabe-se que $\Delta t_1 = \Delta t_3 = \Delta t_5$ e que $\Delta t_2 = \Delta t_4 = \Delta t_6$, obtemos (4) em função da razão cíclica e do período de comutação.

$$\Delta t_1 = (3D - 1) \cdot T_g / 3; \quad \Delta t_2 = (2 - 3D) \cdot T_g / 3 \quad \text{para R2} \quad (4)$$

Substituindo-se (3) em (1), bem como (4) em (2), obtém-se a equação que define o ganho estático do conversor proposto operando no MCC para R1 e R2 em (5) e (6). Observa-se que o ganho estático obtido em R2 é igual a dois terços do ganho estático da topologia desenvolvida em [20] e tem características de elevador de tensão.

$$G_{R1MCC} = \frac{E_2}{E_1} = \frac{3D \cdot n_g \cdot n_T}{3D \cdot (n_g - n_T) + n_T} \quad \text{para R1} \quad (5)$$

$$G_{R2MCC} = \frac{E_2}{E_1} = \frac{2n_T}{3(1 - D)} \quad \text{para R2} \quad (6)$$

A partir da equação de tensão aplicada entre os terminais de um indutor, que é proporcional à taxa de variação da corrente que o atravessa e, analisando o comportamento desta corrente na primeira etapa, obtemos:

$$E_1 - \left(E_2 / n_T \right) = \frac{\Delta I_{E1}}{L_1} \cdot D \cdot T_g \quad \Rightarrow (\Delta I_{E1} = \Delta I_{L1}) \quad \text{para R1} \quad (7)$$

$$E_1 - \frac{E_2}{2n_T} = 3L_1 \cdot \frac{\Delta I_{E1}}{(3D - 1)T_g}; \quad \Rightarrow (\Delta I_{E1} = \Delta I_{L1}) \quad \text{para R2} \quad (8)$$

Substituindo (5) em (6) e (7) em (8) obtém-se (9) e (10) que podem ser utilizadas para o cálculo da indutância de entrada no MCC para a região R1 e R2.

$$L_1 = \frac{E_2}{3 n_s \cdot f_s \cdot \Delta I_{E1}} (1 - 3D) \quad \text{para R1} \quad (9)$$

$$L_1 = \frac{E_2}{6 n_T \cdot f_s \cdot \Delta I_{E1}} (2 - 3D) \cdot (3D - 1) \quad \text{para R2} \quad (10)$$

4.3 ANÁLISE DAS ETAPAS EM MCD PARA R1 E R2

A operação no MCD ocorre quando a corrente no indutor L_1 é descontínua, ou seja, a corrente em L_1 se anula antes do início do período seguinte, isto é, a cada um terço do período de comutação. O MCD em R1 e R2 é composto por nove etapas de operação dentro de um período de comutação, conforme pode ser visto na [Fig. 4b](#) e [4c](#).

1ª etapa $[t_0 - t_1]$, R1: Essa etapa tem início com a condução do interruptor S_1 . A corrente que circula pelo indutor de entrada L_1 cresce linearmente. A corrente que passa pelo interruptor S_1 é a corrente de entrada (i_{L1}). Durante esta etapa, o indutor acumula energia até o instante t_1 , em que o interruptor S_1 é comandado a bloquear. Neste instante, a corrente que circula na carga R2 é igual a $(i_{S1}/n_T) - i_{C2}$. A primeira etapa é apresentada na [Fig. 3a](#). A região de operação é verificada pelas formas de ondas teóricas da [Fig. 4b](#).

2ª etapa $[t_1 - t_2]$, R1: Essa etapa de operação tem início quando o interruptor S_1 é comandado a bloquear e a corrente no indutor L_1 é zero. A energia magnética armazenada no núcleo do indutor produz a circulação da corrente i_{L1}/n_s , que é conduzida através o diodo do interruptor S_4 . Durante a transferência desta energia, o indutor L_1 fica submetido à tensão de saída refletida ao primário do indutor acoplado T_F . A segunda etapa de operação pode ser visualizada na [Fig. 3b](#).

3ª etapa $[t_2 - t_3]$, R1: Essa etapa de operação tem início quando a corrente em L_2 atinge o valor zero. Neste instante, o diodo do interruptor S_4 é bloqueado e a carga passa a ser alimentada unicamente pelo capacitor de saída (C_2). A corrente no capacitor é igual à corrente de carga R2, representada na [Fig. 3h](#).

As *4ª e 7ª etapas* na região R1 são similares à primeira etapa de operação, conforme circuito equivalente apresentado nas [Figs. 3c e 3d](#), respectivamente. As *5ª*

e 8ª etapas são similares ou idênticas à segunda etapa, com circuito equivalente ilustrado pela Fig. 3b. Já as 6ª e 9ª etapas são idênticas à terceira etapa, com circuito equivalente ilustrado na Fig. 3h. Um período de comutação é encerrado no final da nona etapa no tempo t_9 , onde em t_0 inicia o ciclo novamente.

1ª etapa [$t_0 - t_1$], R2: Começa em t_0 com S₁ e S₃ em condução, conforme circuito equivalente ilustrado pela Fig. 3e. A tensão sobre L₁ e LP₁ é igual a $E_1 - E_2/2n_T$ e $E_2/2n_T$, respectivamente. A corrente que circula pelos diodos D₂ e D₆ é igual a $i_{L1}/2n_T$, pelos interruptores é $i_{L1}/2$. L₁ acumula energia até o instante t_1 em que S₃ é comandado a bloquear. A região de operação é verificada pelas formas de ondas teóricas da Fig. 4d.

2ª etapa [$t_1 - t_2$], R2: Essa etapa tem início quando S₃ é comandado a bloquear. Toda a energia armazenada em L₁ é transferida para a carga através de LS₁, D₂, D₃ e D₄, conforme apresentado na Fig. 3a. A tensão sobre L₁ é igual à $E_1 - E_2/n_T$ e a corrente no diodo D₄ é i_{L1}/n_T , conforme pode ser visto na Fig. 4d. A corrente em L₁ decresce linearmente até atingir o valor zero no tempo t_2 .

3ª etapa [$t_2 - t_3$], R2: Quando a tensão sobre L₁ é igual a zero, neste instante, não há energia no estágio de entrada, e a carga passa a ser alimentada unicamente pelo capacitor de saída C₂, conforme circuito equivalente da Fig. 3h. A corrente em C₂ é igual à corrente de carga i_2 . O final desta etapa ocorre no instante t_3 com o acionamento do interruptor seguinte.

As 4ª e 7ª etapas na região R2 são similares à primeira etapa de operação, conforme circuito equivalente ilustrado pelas Figs. 3f e 3g, respectivamente. As 5ª e 8ª etapas são na região R2 similares à segunda etapa, com circuito equivalente ilustrado pelas Figs. 3c e 3d, respectivamente. Já as 6ª e 9ª etapas são idênticas à terceira etapa, com circuito equivalente ilustrado na Fig. 3h. Um período de comutação é encerrado no final da nona etapa no tempo t_9 , onde em t_0 inicia o ciclo novamente.

4.4 GANHO ESTÁTICO EM MCD E MCCr PARA R1 E R2

O ganho estático no MCD é obtido através do balanço de energia durante um período de comutação. A energia consumida pela carga é fornecida pela fonte de alimentação ($W_{E1} = W_{R2}$), conforme determinado abaixo:

$$W_{E1} = 3 E_1 \cdot I_{L1_{max}} \cdot D \cdot T_g / 2; \quad W_{R2} = E_2 \cdot I_2 \cdot T_g \quad \text{para R1} \quad (11)$$

$$W_{E1} = 3 E_1 \cdot I_{L1_{max}} \cdot (t_m + t_d) \cdot T_g / 2; \quad W_{R2} = E_2 \cdot I_2 \cdot T_g \quad \text{para R2} \quad (12)$$

onde $I_{L1_{max}}$ é a máxima corrente em L_1 , t_m tempo de magnetização e t_d tempo de desmagnetização da corrente. A corrente máxima no indutor é função da tensão de entrada, tensão de saída e da indutância, de acordo com a Eqs. (13) e (14).

$$I_{L1_{max}} = \frac{E_1 - (E_2 / n_T)}{L_1} \cdot D T_g \quad \text{para R1} \quad (13)$$

$$I_{L1_{max}} = \frac{E_1 - (E_2 / 2 n_T) \cdot 3D - 1}{L_1} \cdot T_g \quad \text{para R2} \quad (14)$$

Os tempos de magnetização e desmagnetização do indutor para R2 são calculados a seguir.

$$t_m = \frac{3D - 1}{3} \cdot T_g; \quad t_d = \frac{I_{L1_{max}} \cdot L_1}{(E_2 / n_T) - E_1} \quad (15)$$

Substituindo (13) em (11) e igualando o balanço de energia entre a entrada e a saída, após algumas manipulações matemáticas, obtemos a Eq. (16) que apresenta o ganho estático do conversor no MCD para R1.

$$G_{R1_{MCD}} = \frac{E_2}{E_1} = \frac{3D^2 \cdot n_T}{n_T \cdot I_2 + 3D^2} \quad \text{para R1} \quad (16)$$

O ganho estático no MCD para R2 é obtido, substituindo (14) e (15) em (12) e igualando o balanço de energia entre a entrada e a saída, após algumas manipulações matemáticas, chega-se a Eq (17).

$$G_{R2_{MCD}} = \frac{E_2}{E_1} = \frac{2 n_T \cdot (3D - 1)^2 + 12 \overline{I_2} \cdot n_T^2}{(3D - 1)^2 + 12 I_2 \cdot n_T} \quad \text{para R2} \quad (17)$$

A corrente de saída normalizada (\bar{I}_2) é definida como:

$$\bar{I}_2 = \frac{2 I_2 \cdot L_1 \cdot f_s}{E_1} \quad \text{para R2 e R1} \quad (18)$$

No MCCr, os ganhos estáticos calculados nos modos MCC e MCD são iguais. Portanto, igualando (5) e (16), determina-se a razão cíclica crítica D_{Cr} e à expressão do ganho no MCCr para R1, conforme apresentado na Eq. (19).

$$D_{Cr} = \frac{1 \pm \sqrt{1 - 12 \bar{I}_2 \cdot n_s}}{6}; \quad G_{R1, MCCr} = \frac{(1 \pm \sqrt{1 - 12 \bar{I}_2 \cdot n_s}) n_T \cdot n_s}{(1 \pm \sqrt{1 - 12 \bar{I}_2 \cdot n_s})(n_s - n_T) + 2n_T}; \quad \text{para R1} \quad (19)$$

O ganho estático no MCCr em R2 é obtido da mesma forma que na R1, igualando (6) e (17), chega-se a Eq. (20), que determina a razão cíclica crítica D_{Cr} e à expressão do ganho no MCCr para R2.

$$D_{Cr} = \frac{3 \pm \sqrt{1 - 24 n_T \cdot \bar{I}_2}}{6}; \quad G_{R2, MCCr} = \frac{4 n_T}{3 \pm \sqrt{1 - 24 n_T \cdot \bar{I}_2}}; \quad \text{para R2} \quad (20)$$

A análise matemática e a descrição das etapas de funcionamento do conversor proposto no MCC, MCD e MCCr para R3, estão apresentadas em [28]. Além disso, foram exibidos os equacionamentos dos ganhos estáticos e esforços de corrente e tensão nos principais componentes do conversor.

4.5 PRINCIPAIS ESFORÇOS SOBRE OS ELEMENTOS DO CONVERSOR EM MCC

Os principais esforços de tensão e corrente que os semicondutores e principais elementos do conversor são submetidos na região R1 e R2 e no MCC são descritos a seguir.

A tensão máxima (V_{max}), o valor médio (I_{med}) e eficaz (I_{ef}) da corrente nos interruptores S_1 , S_2 e S_3 são dados por (21) e (22).

$$V_{s_{max}} = E_1 + \frac{E_2}{n_s} + \frac{E_2}{n_T}; \quad I_{s_{med}} = \frac{I_2 \cdot D \cdot n_s \cdot n_T}{3D \cdot (n_s - n_T) + n_T}; \quad I_{s_{ef}} = \frac{I_2 \cdot \sqrt{D} \cdot n_s \cdot n_T}{3D \cdot (n_s - n_T) + n_T} \quad \text{para R1} \quad (21)$$

$$V_{s_{max}} = \frac{2E_2}{n_T}; \quad I_{s_{med}} = \frac{2I_2 \cdot n_T}{9(1-D)}; \quad I_{s_{ef}} = \frac{I_2 \cdot n_T}{3} \sqrt{\frac{2}{(1-D)}} \quad \text{para R2} \quad (22)$$

A tensão máxima, o valor médio e eficaz da corrente sobre os diodos do retificador trifásico D₁–D₆ são dados por (23) e (24):

$$V_{D_{max}} = E_2; \quad I_{D_{med}} = I_2 \frac{D \cdot n_s}{3D \cdot (n_s - n_T) + n_T}; \quad I_{D_{ef}} = I_2 \frac{\sqrt{D} \cdot n_s}{3D \cdot (n_s - n_T) + n_T} \quad \text{para R1} \quad (23)$$

$$V_{D_{max}} = E_2; \quad I_{D_{med}} = \frac{I_2}{3}; \quad I_{D_{ef}} = \frac{I_2 \cdot \sqrt{3(7-9D)}}{9(1-D)} \quad \text{para R2} \quad (24)$$

O valor eficaz da corrente no indutor de entrada L₁ em R1 e R2 é determinado conforme as Eqs. (25) e (26).

$$I_{L1_{ef}} = I_2 \frac{n_s \cdot n_T}{\sqrt{3D \cdot (n_s - n_T) + n_T}} \quad \text{para R1} \quad (25)$$

$$I_{L1_{ef}} = \frac{2I_2 \cdot n_T}{3(1-D)} \quad \text{para R2} \quad (26)$$

O valor eficaz da corrente que percorre de L₂ na R1 e R2 pode ser calculado pelas expressões (27) e (28):

$$I_{L2_{ef}} = I_2 \frac{n_T}{3D \cdot (n_s - n_T) + n_T} \sqrt{1-3D} \quad \text{para R1} \quad (27)$$

$$I_{L2_{ef}} = 0 \quad \text{para R2} \quad (28)$$

O valor eficaz da corrente em C₂ para as ambas regiões de operação é calculado por meio das seguintes expressões:

$$I_{C2_{ef}} = I_2 \frac{(n_s - n_T) \sqrt{3D \cdot (1-3D)}}{3D(n_s - n_T) + n_T} \quad \text{para R1} \quad (29)$$

$$I_{C2_{ef}} = \frac{I_2 \cdot \sqrt{(2-3D) \cdot (3D-1)}}{3(1-D)} \quad \text{para R2} \quad (30)$$

5. OPERAÇÃO NO SENTIDO INVERSO

Nesta seção, serão apresentadas as etapas de operação do conversor no MCC e MCD, as principais formas de ondas teóricas, ganho estático em ambos os modos de operação e principais equações do conversor.

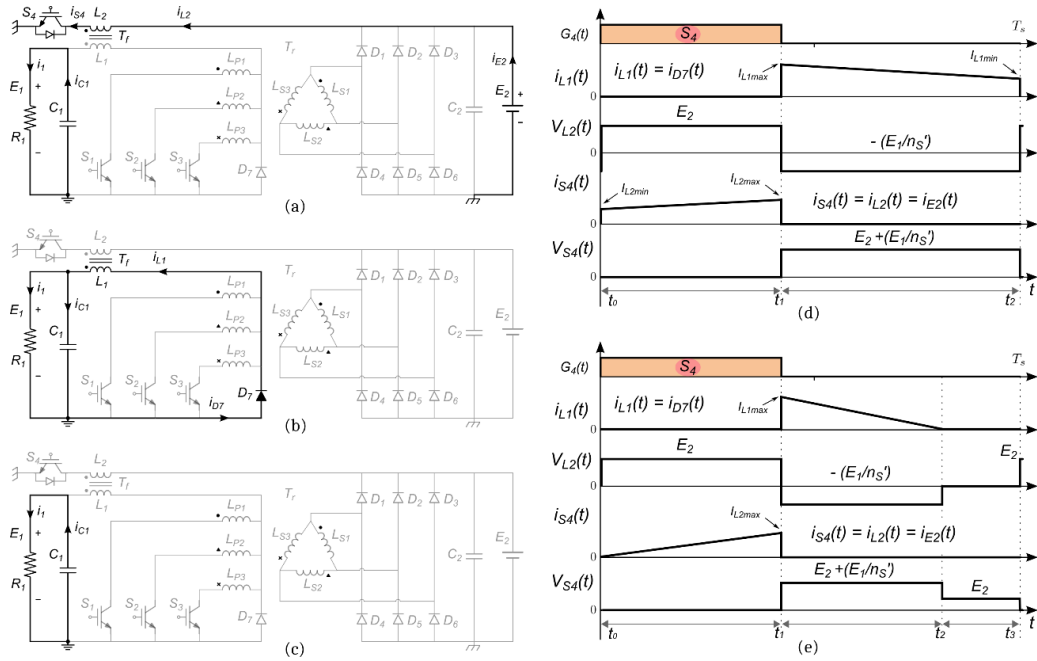
5.1 ANÁLISE DAS ETAPAS EM MCC

No MCC, o conversor possui duas etapas de operação com comando único aplicado ao interruptor S_4 , para uma modulação PWM convencional, conforme ilustrado na [Fig. 5d](#), que apresenta as formas de ondas idealizadas.

1ª etapa $[t_0 - t_1]$: Nesta etapa, o interruptor S_4 está conduzindo e o diodo D_7 está inversamente polarizado. A fonte de alimentação E_2 fornece energia para a magnetização do enrolamento secundário L_2 do indutor acoplado T_f . A tensão aplicada sobre L_2 é $V_{L2} = E_2$, e a corrente de S_4 é a própria corrente da fonte i_{E2} . Durante este intervalo, o capacitor de saída C_1 alimenta a carga, conforme apresentado pelo circuito equivalente na [Fig. 5a](#).

2ª etapa $[t_1 - t_2]$: Em t_1 , S_4 é comandado a bloquear, polarizando diretamente D_7 . A energia armazenada na etapa anterior em L_2 é agora transferida para a saída por meio de L_1 e D_7 . A tensão de saída refletida para o enrolamento L_2 é $V_{L2} = E_1/n'_S$. O circuito equivalente apresentado na [Fig. 5b](#) representa esta etapa que é finalizada em t_1 , onde um período de comutação é encerrado.

Figura 5: Circuitos equivalentes e formas de onda idealizadas para o sentido inverso do fluxo de potência: (a) 1ª etapa, (b) 2ª etapa, (c) 3ª para MCD, (d) Formas de onda para MCC, e (e) Formas de onda para MCD



Fonte: Os autores

5.2 GANHO ESTÁTICO EM MCC

O ganho estático no MCC é determinado a partir do balanço de fluxo de energia em L_2 dentro de um período de comutação, observando a tensão sobre o indutor ilustrada na Fig. 5d.

A partir dos intervalos de tempo $\Delta t_1 = D T_S$ e $\Delta t_2 = (1 - D) T_S$, obtém-se a Eq. (31) que define o ganho estático do conversor operando no MCC.

$$G_{MCC} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{D}{n_s \cdot (1 - D)} = \frac{D \cdot n'_s}{(1 - D)} \quad (31)$$

Cuja a relação $n'_s = 1/n_s$

A partir da equação instantânea da tensão sobre um indutor, obtém-se a indutância necessária para atender a ondulação de corrente desejada, conforme apresentado em (32).

$$L_2 = \frac{E_1 (1 - D)}{n'_s \cdot \Delta I_{L2} \cdot f_s} \quad (32)$$

5.3 ANÁLISE DAS ETAPAS EM MCD

O MCD é composto por três etapas, onde duas são semelhantes à operação no MCC e uma se diferencia devido a anulação da corrente do indutor. Desta forma, as principais formas de onda idealizadas são representadas na Fig. 5e.

1ª etapa [t₀ - t₁]: Esta etapa é simétrica à 1ª do MCC. O que difere é a corrente de L₂, que inicia no tempo t₀ com valor zero, porém o circuito equivalente é ilustrado na Fig. 5a.

2ª etapa [t₁ - t₂]: Esta etapa também é simétrica à 2ª do MCC, com circuito equivalente ilustrado na Fig. 5b. No entanto, a corrente de L₁ é anulada no tempo t₂, desmagnetizando completamente T_f e encerrando esta etapa.

3ª etapa [t₂ - t₃]: Em t₂, toda a energia armazenada em T_f já foi transferida, e com isso D₇ é bloqueado. Unicamente C₁ passa a alimentar a carga, conforme circuito da Fig. 5c. No instante t₃, um período de comutação é encerrado.

5.4 GANHO ESTÁTICO NO MCD E MCCr

Na operação do MCD, a energia fornecida pela fonte de entrada e consumida pela carga deve ser igual.

$$W_{E2} = E_2 \cdot I_{L2_{max}} \cdot D \cdot T_s / 2; \quad W_{R1} = E_1 \cdot I_1 \cdot T_s \quad (33)$$

A corrente máxima no indutor ($I_{L2_{max}}$) é dada por:

$$I_{L2_{max}} = \Delta I_{L2} = E_2 \cdot D \cdot T_s / L_2 \quad (34)$$

Submetendo (34) em (33) e aplicando o princípio da conservação da energia ($W_{E2} = W_{R1}$), obtém-se o ganho estático no sentido inverso do fluxo de potência para o MCD em (35). A corrente de saída normalizada (I_1) agora é definida como:

$$G_{MCD} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{D^2}{I_1} \quad (35)$$

Onde a corrente de saída normalizada (\bar{I}_1) é definida como:

$$\frac{\bar{I}_1}{I_1} = \frac{2 I_1 \cdot L_2 \cdot f_s}{E_2} \quad (36)$$

As expressões para a razão cíclica crítica e o ganho estático no MCCr para o sentido inverso do fluxo de potência são obtidas igualando os ganhos (31) e (35), conforme abaixo:

$$D_{cr} = \frac{1 \pm \sqrt{1 - 4 n_g' \cdot \bar{I}_1}}{2}; \quad G_{MCCr} = \frac{\left(1 \pm \sqrt{1 - 4 n_g' \cdot \bar{I}_1}\right)^2}{4 \bar{I}_1}; \quad (37)$$

5.5 PRINCIPAIS ESFORÇOS SOBRE OS ELEMENTOS DO CONVERSOR EM MCC

Os principais esforços no MCD e sentido inverso do fluxo de potência são descritos a seguir.

A tensão máxima, valores médio e eficaz da corrente em S₄ são dados por (38), onde $I_{S_{med}} = I_{L2_{med}}$ e $I_{S_{ef}} = I_{L2_{ef}}$.

$$V_{S_{max}} = E_2 + \frac{E_1}{n_g}; \quad I_{S_{med}} = \frac{E_1 \cdot I_1}{E_2}; \quad I_{S_{ef}} = \frac{E_1 \cdot I_1}{E_2 \sqrt{D}} \quad (38)$$

A tensão máxima, valores médio e eficaz da corrente em D₇ são dados por (39), onde $I_{D_{med}} = I_{L1_{med}}$ e $I_{D_{ef}} = I_{L1_{ef}}$.

$$V_{D_{max}} = E_1 + E_2 \cdot n_g'; \quad I_{D_{med}} = I_1; \quad I_{D_{ef}} = \sqrt{\frac{E_2 \cdot I_1 \cdot D}{2 L_2 \cdot n_g' \cdot f_s}} \quad (39)$$

O valor eficaz da corrente em C₁.

$$I_{C1_{ef}} = I_1 \cdot \sqrt{\frac{E_2 \cdot D}{2 I_1 \cdot L_2 \cdot n_g' \cdot f_s} - 1} \quad (40)$$

6. DETERMINAÇÃO A RELAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO (n_s)

O conversor possibilita dois modos de operação diferentes. Na primeira possibilidade, o conversor opera em MCC em dois sentidos, lembrando que os ganhos

estáticos em MCC no sentido direto e inverso do fluxo de energia são dados por (41) e (42):

$$G_{R2MCC} = \frac{2}{3} \frac{n_T}{(1 - D_{SD})} \quad (41)$$

$$G_{MCC} = \frac{D_{SI} \cdot n'_S}{(1 - D_{SI})} \quad (42)$$

Onde: D_{SD} é o valor da razão cíclica no sentido direto do fluxo de potência e D_{SI} é o valor da razão cíclica no sentido inverso do fluxo de energia.

Sabe-se que os ganhos estáticos em dois sentidos são inversamente proporcionais, de outra maneira $G_{R2MCC} = 1/G_{MCC}$. Substituindo as Eqs. (41) e (42) nesta definição, obtém-se:

$$\frac{2}{3} \frac{n_T}{1 - D_{SD}} = \frac{(1 - D_{SI})}{D_{SI} \cdot n'_S} \quad (43)$$

Trabalhando a equação anterior, se obtém a relação de transformação n_S do indutor acoplado T_F na primeira possibilidade, o que é definido pela expressão (44).

$$n_S = \frac{2 n_T \cdot D_{SI}}{3(1 - D_{SD}) \cdot (1 - D_{SI})} \quad (44)$$

A segunda possibilidade considera o conversor operando em MCC no sentido direto e o MCD no sentido inverso. Utilizando o mesmo método citado anteriormente, chega-se à expressão (45).

$$\frac{2}{3} \frac{n_T}{(1 - D_{SD})} = \frac{\bar{I}_1}{D_{SI}^2} \quad (45)$$

Substituindo a expressão (36) da corrente parametrizada da carga em (45):

$$\frac{2}{3} \frac{n_T}{1 - D_{SD}} = \frac{2 L_2 \cdot f_S \cdot I_1}{D_{SI}^2 \cdot E_2} \quad (46)$$

Trabalhando a equação anterior, se obtém a relação da transformação n_S para a segunda possibilidade, que é dada pela Eq. (47).

$$n_S = \sqrt{\frac{n_T \cdot D_{SI}^2 \cdot G_{R2MCC} \cdot R_2}{3(1 - D_{SD}) \cdot f_S \cdot L_1}} \quad (47)$$

7. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Nesta seção, um exemplo de projeto do conversor proposto é apresentado, onde um protótipo de laboratório foi implementado e ensaiado em malha aberta com as especificações listadas na Tabela I.

Tabela: Especificação do Protótipo

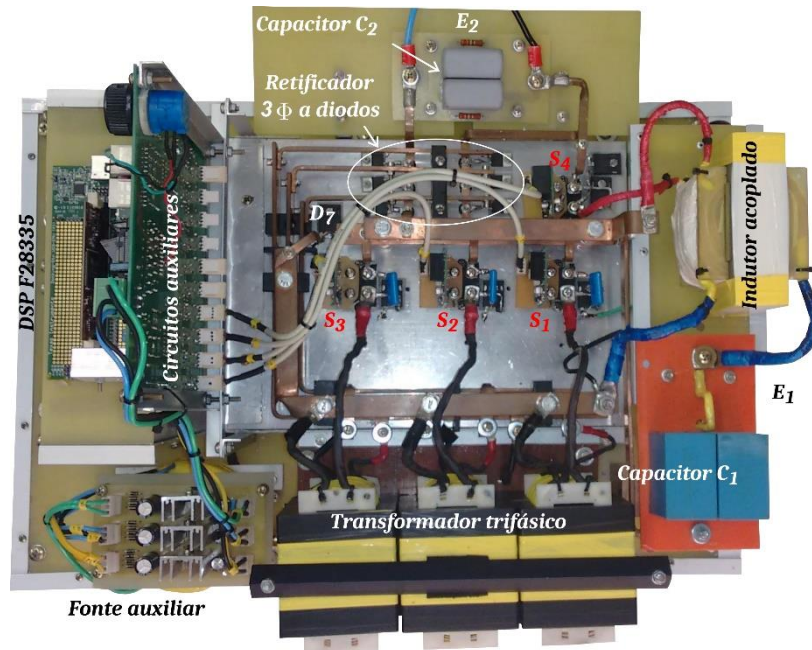
<i>Parâmetros</i>	<i>Sentido direto</i>	<i>Sentido inverso</i>
Potência de saída	4kW	1,3kW
Tensão de saída	450V	75V
Tensão de entrada	75V	450V
Ondulação de tensão de saída (ΔV)	1V	7V
Ondulação de corrente (ΔI_{L1})	7A	35A
Relação de transformador (n_T)	4,8	-
Relação do indutor (n_S)	2	0,5
Frequência de comutação (f_S)	25kHz	25kHz
Condição de operação	MCC em R2	MCD

Fonte: Os autores

O protótipo foi projetado para operar no sentido direto do fluxo de potência em MCC como elevador de tensão, e no sentido inverso do fluxo de potência em MCD como abaixador de tensão. A Fig. 6 mostra a foto do protótipo utilizado nos ensaios de bancada, no qual são identificados seus principais componentes.

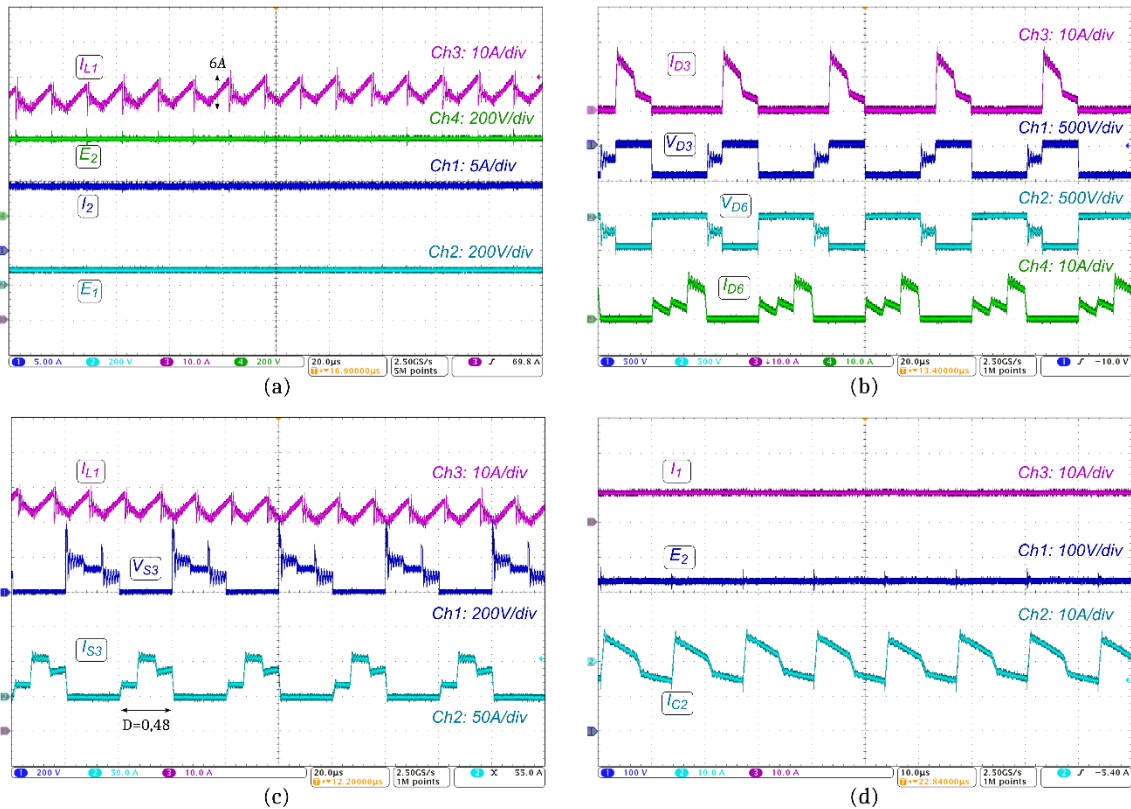
Na Fig. 7 são mostrados os resultados experimentais para a operação no sentido direto do fluxo de potência, como Push-Pull trifásico, onde a tensão de entrada é 75 V, tensão de saída em 450 V para $D = 0,48$ e potência de aproximadamente 4 kW. Os resultados comprovam que a frequência da ondulação de corrente na entrada e da tensão na saída é três vezes maior que a frequência de comutação, além do ganho estático G_{1MCC} no MCC. O pico de tensão registrado no bloqueio de S_3 atinge o valor de 420 V, e é provocado pela indutância de dispersão do transformador. Esta sobretensão é limitada por um circuito de amortecimento tipo resistor-capacitor-diodo utilizado.

Figura 6: Fotografia do protótipo de laboratório ensaiado



Fonte: Os autores

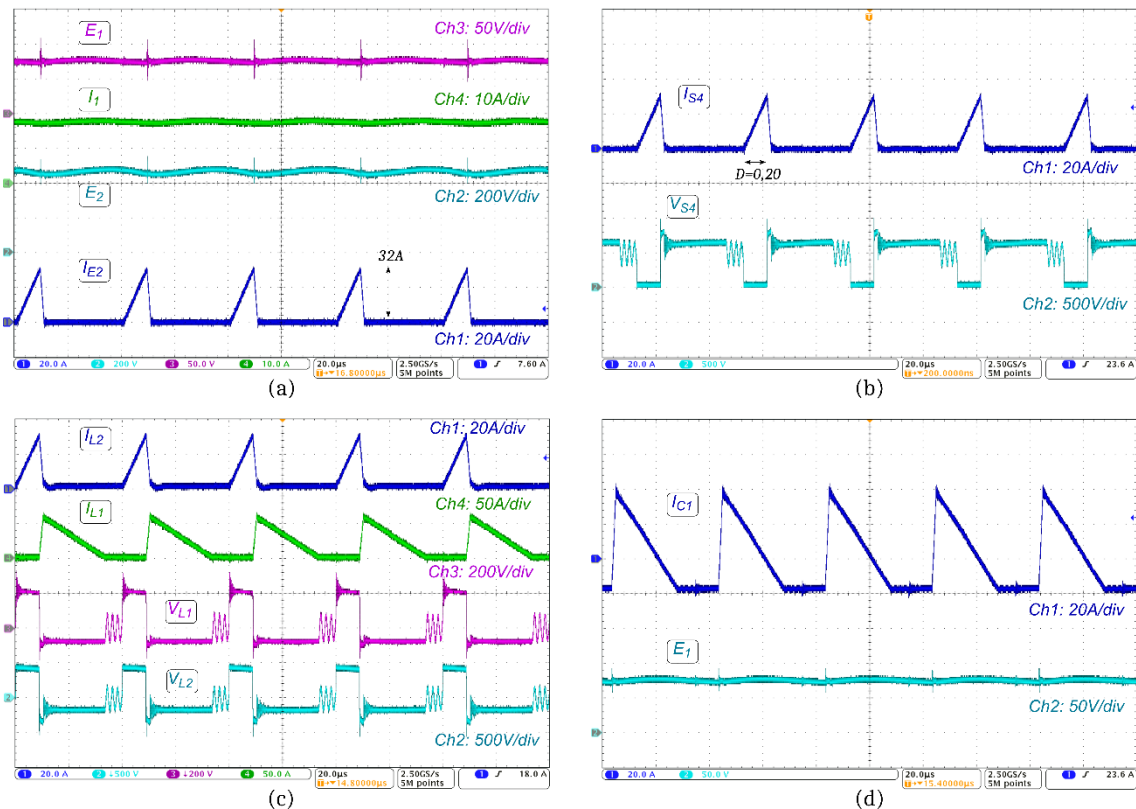
Figura 7: Sentido Direto do fluxo de potência: (a) Ch1: corrente de saída I_{L2} , Ch2: tensão da entrada E_1 , Ch3: corrente da fonte I_{E1} , Ch4: tensão de saída $[E]_{L2}$, (b) Ch1: tensão sobre D3, Ch2: tensão sobre D6, Ch3: corrente de D3, Ch4: corrente de D6, (c) Ch1: tensão sobre S3, Ch2: corrente em S3, Ch3: corrente de L1, e (d) Ch1: tensão no capacitor C2, Ch2 : corrente de C2, Ch3 corrente na carga I_{L2} .



Fonte: Os autores

Na Fig. 8, são mostrados os resultados experimentais para a operação no sentido inverso do fluxo de potência, como um clássico Flyback, onde a tensão de entrada é 450 V , tensão de saída está em 75 V , $L_2 = 123\ \mu\text{H}$, corrente de carga é $I_1 = 17,3\text{ A}$ para $D = 0,20$ e potência de aproximadamente $1,3\text{ kW}$. Os resultados comprovam que o conversor opera no MCD, Eq. (35), conforme o esperado e apresentado na Fig. 8c. A Fig. 8d comprova que a frequência de ondulação da tensão e corrente sobre o capacitor é a mesma da frequência de comutação. É possível verificar que toda a ondulação de corrente do indutor é absorvida pelo capacitor de filtro da saída (C_1), onde a operação no MCD para elevadas potências, exige capacitores que possam processar elevadas correntes.

Figura 8: Sentido Inverso do fluxo de potência: (a) Ch1: corrente na fonte E_2 , Ch2: tensão da fonte E_2 , Ch3: tensão de saída E_1 , Ch4: corrente na carga R_1 , (b) Ch1: corrente em S_4 , Ch2: tensão sobre S_4 , (c) Ch1: corrente em L_2 , Ch2: tensão sobre L_2 , Ch3: tensão sobre L_1 , Ch4: corrente em L_1 , e (d) Ch1: corrente em C_1 , Ch2: tensão de saída E_1 .

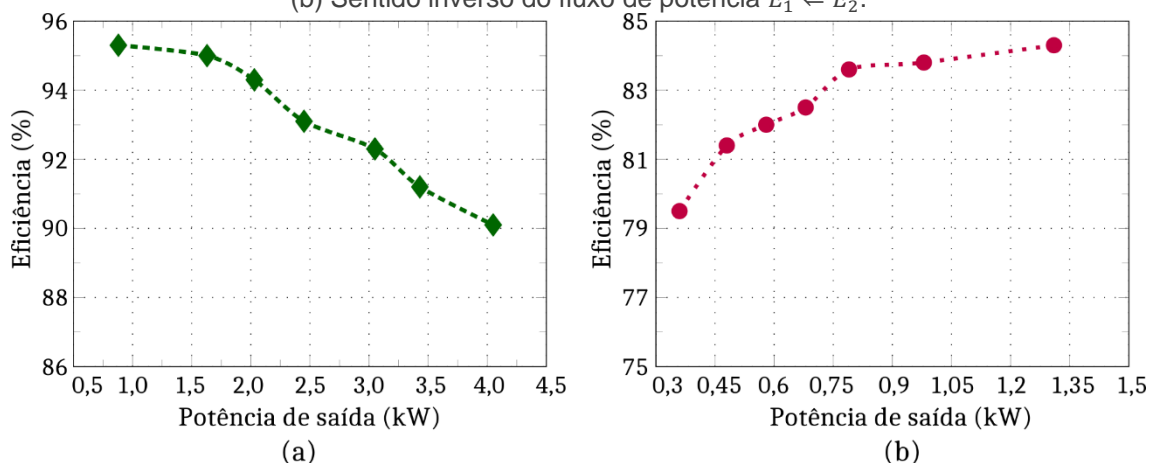


Fonte: Os autores

A eficiência do conversor proposto foi medida para diferentes condições de carga mantendo as tensões em $E_1 = 75\text{ V}$ e $E_2 = 450\text{ V}$ para ambos os sentidos do fluxo de potência, conforme apresentado na Fig. 9. No sentido direto do fluxo de potência, curva da Fig. 9a, o valor máximo de rendimento ocorreu para 22 % de carga, onde

atingiu uma eficiência de 95,3%. Em plena carga, a eficiência obtida foi de 90,1 %. Na Fig. 9b, a curva de eficiência obtida no sentido inverso do fluxo de potência, em função de sua potência de saída, pode ser vista. O máximo valor atingido foi de 84,3 %, para a condição de potência nominal. A maior concentração de perdas foi registrada no circuito de grampeamento e no diodo de saída.

Figura 9: Curva de eficiência do conversor proposto: (a) Sentido direto do fluxo de potência $E_1 \Rightarrow E_2$, e (b) Sentido inverso do fluxo de potência $E_1 \Leftarrow E_2$.



Fonte: Os autores

8. CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi apresentado um conversor CC-CC bidirecional denominado Push-Pull/Flyback que possui isolamento em alta frequência, podendo conectar barramentos em CC distintos de diferentes tensões, operando como elevador ou abaixador de tensão e permitindo isolamento galvânico entre a fonte e a carga. Uma análise qualitativa e quantitativa foi conduzida para ambos os sentidos do fluxo de potência e verificada por meio de um protótipo ensaiado em malha aberta no laboratório.

No sentido direto, opera com Push-Pull Trifásico, e as três regiões foram analisadas, denominadas de R1, R2 e R3. Na região R1, o conversor apresenta comportamento de abaixador/elevador de tensão, a qual corresponde à faixa de razão cíclica é $0 \leq D < 1/3$. Nas regiões R2 e R3, o conversor apresenta comportamento de elevador de tensão, cuja faixa de tensão disponível na saída é de $E_1 \cdot n_T$ a ∞ , a qual corresponde à faixa de razão cíclica de $1/3$ a 1 .

No sentido inverso do fluxo de energia o conversor apresenta comportamento análogo a uma topologia Flyback quando apenas o interruptor s_4 é comandado. A

análise realizada mostrou que o ganho estático é igual ao das topologias que foram geradas a partir dos circuitos básicos conhecidos como Flyback ou Buck-Boost isolado.

Os resultados experimentais apresentados validam o princípio de operação, projeto e dimensionamento do conversor, bem como demonstram as principais vantagens da estrutura, que são: reduzido número de interruptores ativos para obter a bidirecionalidade, reduzindo volume, simplicidade estrutural que reduz custo, baixa complexidade de construção e implementação, robustez, requer somente a clássica modulação PWM e permite a aplicação de elevados ganhos de tensão em função da utilização do transformador trifásico e indutor acoplado.

A proposta se apresenta mais adequada para aplicações que exijam altas correntes de saída com baixa ondulação, baixas tensões de entrada e elevadas tensões de saída, em aplicações de média e alta potência. Estas características são particularmente desejáveis em algumas aplicações, como carregadores de baterias ou ultracapacitores em microrredes, em fontes de alimentação bidirecionais que não necessitam da mesma capacidade de processamento de potência em ambos os sentidos, e na integração com fontes renováveis de energia como a solar e eólica.

REFERÊNCIAS

- [1] M. B. El Kattel, R. Mayer, M. D. Possamai, S. V. G. Oliveira “Conversor CC-CC bidirecional push-pull / flyback” *Eletrônica de Potência-SOBRAEP*, vol. 24, no. 1, pp. 85-94, Março. 2019.
- [2] Matsuo, K. Harada, “New dc-dc converters with an energy storage reactor”, *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 13, no. 5, pp. 1211–1213, Sep. 1977.
- [3] X. Ma, “High-performance PWM frequency changers”, *IEEE Transactions on Industry Applications*, , no. 2, pp. 267–280, March 1986.
- [4] R. Mayer, A. Péres, S. V. G. Oliveira, “Conversor cc-cc multifásico bidirecional em corrente não isolado aplicado a sistemas elétricos de tração de veículos elétricos e híbridos”, *Eletrônica de Potência-SOBRAEP*, vol. 20, no. 3, pp. 311–321, Jun./Ago. 2015.
- [5] R. W. De Doncker, D. M. Divan, M. H. Kheraluwala, “A three-phase soft-switched high-power-density DC/DC converter for high-power applications”, *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 27, no. 1, pp. 63–73, Jan./Feb. 1991.
- [6] A. Chub, R. Kosenko, A. Blinov, “A three-phase full soft-switching current-fed naturally clamped DC-DC converter for high-power energy storage applications”, in *IEEE Intelligent Energy and Power Systems*, pp. 1–5, June 2016.
- [7] A. Prasad, P. Ziogas, S. Manias, “A three-phase resonant PWM DC-DC converter”, in *Power Electronics Specialists Conf.*, pp. 463–473, June 1991.
- [8] R. Mirzahassemi, F. Tahami, “A phase-shift three-phase bidirectional series resonant dc/dc converter”, in *IEEE Industrial Electronics Society*, pp. 1137–1143, Nov. 2011.
- [9] N. Soltau, S. P. Engel, H. Stagge, R. W. De Doncker, “Compensation of asymmetric transformers in high-power DC-DC converters”, in *ECCE Asia Downunder*, pp. 1084–1090, June 2013.
- [10] F.-M. Ni, T.-L. Lee, “Implementation of a bidirectional three-phase dual-active-bridge DC converter for electric vehicle applications”, in *Future Energy Electronics Conference (IFEEEC)*, pp. 271–276, Nov. 2013.
- [11] F.-M. Ni, T.-L. Lee, “Implementation of a bidirectional three-phase dual-active-bridge DC converter with hybrid modulation for electric vehicle applications”, in *Intelligent Green Building and Smart Grid*, pp. 1–4, 2014.
- [12] S. Bal, A. K. Rathore, D. Srinivasan, “Modular Snubberless Bidirectional Soft-Switching Current-Fed Dual 6-Pack (CFD6P) DC/DC Converter”, *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 30, no. 2, pp. 519–523, Feb. 2015.

- [13] N. Soltau, H. Stagge, R. W. De Doncker, O. Apeldoorn, "Development and demonstration of a medium-voltage high-power DC-DC converter for DC distribution systems", in *IEEE Power Electronics for Distributed Generation Systems*, pp. 1–8, June 2014.
- [14] N. H. Baars, J. Everts, H. Huisman, J. L. Duarte, E. A. Lomonova, "A 80-kW isolated DC–DC converter for railway applications", *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 30, no. 12, pp. 6639–6647, Dec. 2015.
- [15] A. Prasad, P. D. Ziogas, S. Manias, "Analysis and design of a three-phase offline DC-DC converter with high-frequency isolation", *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 28, no. 4, pp. 824–832, Jul./Aug. 1992.
- [16] M. Xu, J. Zhou, F. C. Lee, "A current-tripler dc/dc converter", *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 19, no. 3, pp. 693–700, May 2004.
- [17] S. V. G. Oliveira, I. Barbi, "A three-phase step-up DC–DC converter with a three-phase high-frequency transformer for DC renewable power source applications", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 58, no. 8, pp. 3567–3580, Aug. 2011.
- [18] H. Cha, J. Choi, W. Kim, V. Blasko, "A new bi-directional three-phase interleaved isolated converter with active clamp", in *IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition*, pp. 1766–1772, Feb. 2009.
- [19] Z. Wang, H. Li, "A soft switching three-phase current-fed bidirectional DC-DC converter with high efficiency over a wide input voltage range", *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 27, no. 2, pp. 669–684, Feb. 2012.
- [20] K. Jin, C. Liu, "A Novel PWM High Voltage Conversion Ratio Bidirectional Three-Phase DC/DC Converter With Y– Δ Connected Transformer", *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 31, no. 1, pp. 81–88, Jan. 2016.
- [21] M. Kwon, J. Park, S. Choi, "A Bidirectional Three-Phase Push–Pull Converter With Dual Asymmetrical PWM Method", *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 31, no. 3, pp. 1887–1895, March 2016.
- [22] S. Bal, A. K. Rathore, D. Srinivasan, "Naturally clamped snubberless soft-switching bidirectional current-fed three-phase push–pull DC/DC converter for dc microgrid application", *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 52, no. 2, pp. 1577–1587, March/April 2016.
- [23] E. V. De Souza, I. Barbi, "Bidirectional current-fed flyback-push-pull DC-DC converter", in *IEEE Power Electronics Conference (COBEP)*, pp. 8–13, Sept. 2011.
- [24] G. Chen, Y. Deng, H. Peng, X. He, Y. Wang, "An optimized modulation method for full-bridge/push-pull bi-directional DC-DC converter with wide-range ZVS and reduced spike voltage", in *IEEE Industrial Electronics Society*, pp. 1247–1253, Nov. 2014.

- [25] P. Xuwei, A. K. Rathore, “Current-fed soft-switching push–pull front-end converter-based bidirectional inverter for residential photovoltaic power system”, IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 29, no. 11, pp. 6041–6051, Nov. 2014.
- [26] H. M. Oliveira Filho, G. N. Costa, A. D. Santos, D. S. Oliveira, “A soft switching current fed bidirectional isolated three-phase DC-DC converter”, in Power Electronics Conference (COBEP), pp. 1–6, Nov. 2017.
- [27] M. B. El Kattel, R. Mayer, S. V. G. Oliveira, Y. R. de Novaes, A. Péres, “Three-phase flyback/current-fed push-pull dc-dc converter with y- Δ connected transformer”, in IEEE Power Electronics Conference and 1st Southern Power Electronics Conference, pp. 1–6, Nov./Dec. 2015.
- [28] M. B. El Kattel “Novas topologias de conversores cc-cc isolados bidirecionais” tese (Doutorado em engenharia elétrica), Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC- Joinville. Disponível em <https://sistemabu.udesc.br/pergamumweb/vinculos/00005a/00005a01.pdf>.

CAPÍTULO 12

LEVANTAMENTO DAS EXPRESSÕES NUMÉRICAS DAS VARIÁVEIS OPERACIONAIS DO REATOR NUCLEAR TRIGA DO CDTN PARA DESENVOLVIMENTO DO SIMULADOR DIGITAL DE SUA OPERAÇÃO

Adriano de Almeida Massaud Felipe

Universidade Federal de Minas Gerais

E-mail: adrianoamfelippe@gmail.com

Amir Zacarias Mesquita

Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN / CNEN - MG)

E-mail: amir@cdtn.br

Aldo Márcio Fonseca Lage

Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN / CNEN - MG)

E-mail: aldo@cdtn.br

Resumo: Este artigo faz parte de um trabalho em desenvolvimento no Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN, que pretende simular a operação do reator nuclear de pesquisa Triga IPR-R1 através do software LabVIEW®. Nesta etapa do projeto tem-se por objetivo a implementação das equações, que regem a operação do reator em função da evolução do fluxo de nêutrons, entre outros eventos relacionados. Estas equações serão implementadas através dos instrumentos virtuais (VI's), fornecidos pela plataforma utilizada. Por exemplo, a equação de Inhour, que relaciona período e reatividade do reator, já foi implementada e validada. Ao final desta etapa do projeto todos os eventos relacionados à equação de Inhour, além das equações que simulam o comportamento da temperatura e da radiação em diferentes regiões do reator, devem estar operando. O mesmo será feito para as equações das barras de Regulação, Controle e Segurança, que inserem cents de reatividade em função da posição destas dentro do núcleo do reator. Uma vez finalizada esta etapa, segue-se para a conexão entre a interface visual e as equações encontradas, para que as primeiras simulações possam ser feitas.

Palavras-chave: Simulação; Instrumentos virtuais (VI); Reator Triga.

1. INTRODUÇÃO

Dando continuidade ao que vem sendo desenvolvido no CDTN [1], este trabalho apresenta os avanços atingidos, detalha o que está sendo feito e projeta o que ainda resta para que o simulador operacional do reator nuclear de pesquisa Triga IPR-R1 esteja funcional. Este projeto trata de uma aplicação prática inserida no Programa Plurianual do CDTN/Cnen 2016-2019, no Subprojeto: 01 – “Desenvolvimento de Simulador de Operação do Reator Triga IPR-R1”, do Projeto: 13 – “Investigações e Desenvolvimentos Aplicados a Reatores Nucleares”, da Linha de Pesquisa: PA 0586 “Pesquisa e Desenvolvimento no reator Triga IPR-R1”.

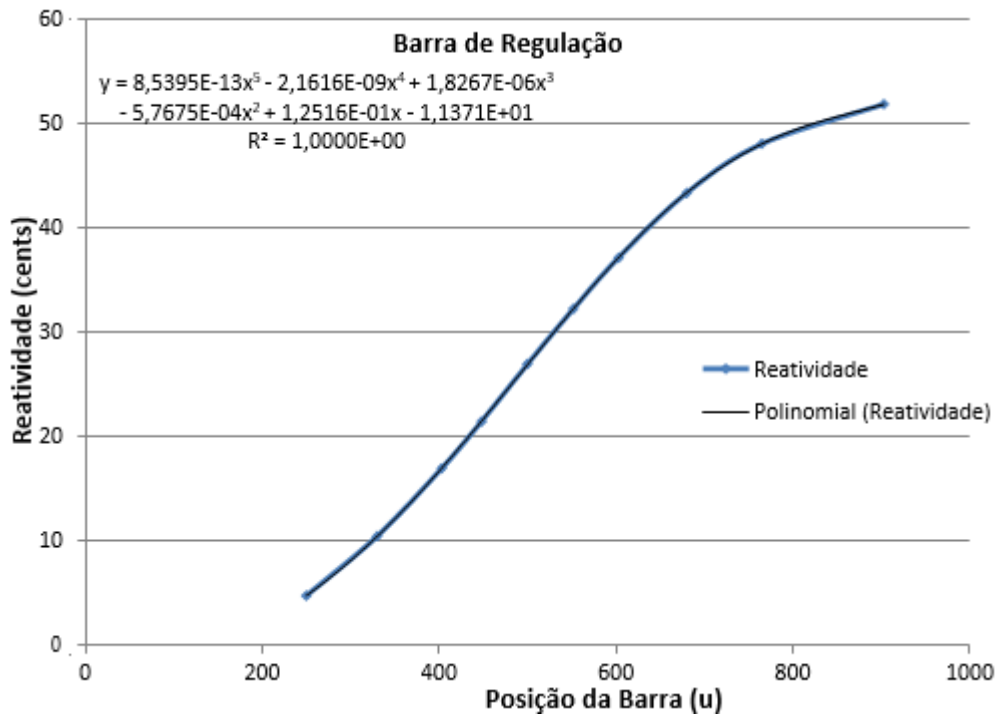
Uma vez finalizada a interface visual da mesa de controle do reator [2], que realizará a interconexão entre a simulação e o operador, fez-se o levantamento das equações que seriam importantes para descrever o princípio de funcionamento da operação do reator, como a equação de Inhour, tanto para analisar o período em função da reatividade como o contrário. Também foram levantadas equações de temperatura, radiação e reatividade de cada uma das barras, que inserem *cents* de reatividade em função de suas posições dentro do reator. Para levantar estas equações fez-se uso de ensaios passados que analisaram as grandezas que permitiram o levantamento destas equações e, como forma de validá-las, fez-se a verificação dos valores retornados nestas equações com os valores observados nos ensaios. Como forma de melhorar os valores retornados por estas equações foi necessário fazer um tratamento destes dados amostrais para evitar que ruídos e medidas incorretas prejudicassem a forma da equação obtida. Com as equações levantadas e validadas pôde-se dar início à associação entre estas e suas respectivas interfaces visuais que serão acessadas pelo operador. Como forma de demonstrar o processo utilizado para determinar a equação que rege o comportamento de determinado parâmetro operacional, será feita análise da metodologia empregada para obter a equação de reatividade das barras e da sua integração com a interface visual e projeção de como esta parte da mesa de controle deverá interagir com o restante.

2. METODOLOGIA

Para esta etapa do projeto, foi desenvolvida toda a metodologia para determinação e implantação das equações que regessem o comportamento da reatividade em função da posição das barras de Controle, Regulação e Segurança; além das equações de temperatura e radiação em diferentes regiões da sala de operação do reator. Para determinar as equações de reatividade em função da posição das barras, utilizamos os dados experimentais [3] e observamos problemas de notação nesses dados, que foram corrigidos antes de dar prosseguimento. Para o levantamento das equações de temperatura e radiação, sua análise se deu a partir de dados amostrais coletados em operações passadas do reator [4], que fizeram o registro dessas grandezas em diferentes pontos da sala de operação do reator. Dada a natureza dos ensaios amostrais, fez-se necessário um pré- tratamento dos dados coletados, de forma a reduzir zonas ruidosas ou de não operação que levariam a descrições incorretas de seus comportamentos. Feito isso, pôde-se determinar as equações que descrevem o comportamento da radiação e da temperatura em diferentes pontos.

Para implantar as equações obtidas no sistema simulador da operação do reator, fez-se a ligação de cada barra, individualmente, com sua respectiva região do painel central da mesa de controle. Assim, fez-se a associação do controle de ajuste da posição da barra com sua respectiva reatividade equivalente. O controle de ajuste de posição se dá a partir de botoeiras e *Led's* responsáveis por indicar as posições de máximo e mínimo, além de indicar a magnetização e o contato de cada uma das barras. A mesma metodologia foi empregada para associar os indicadores de temperatura e radiação com suas respectivas equações.

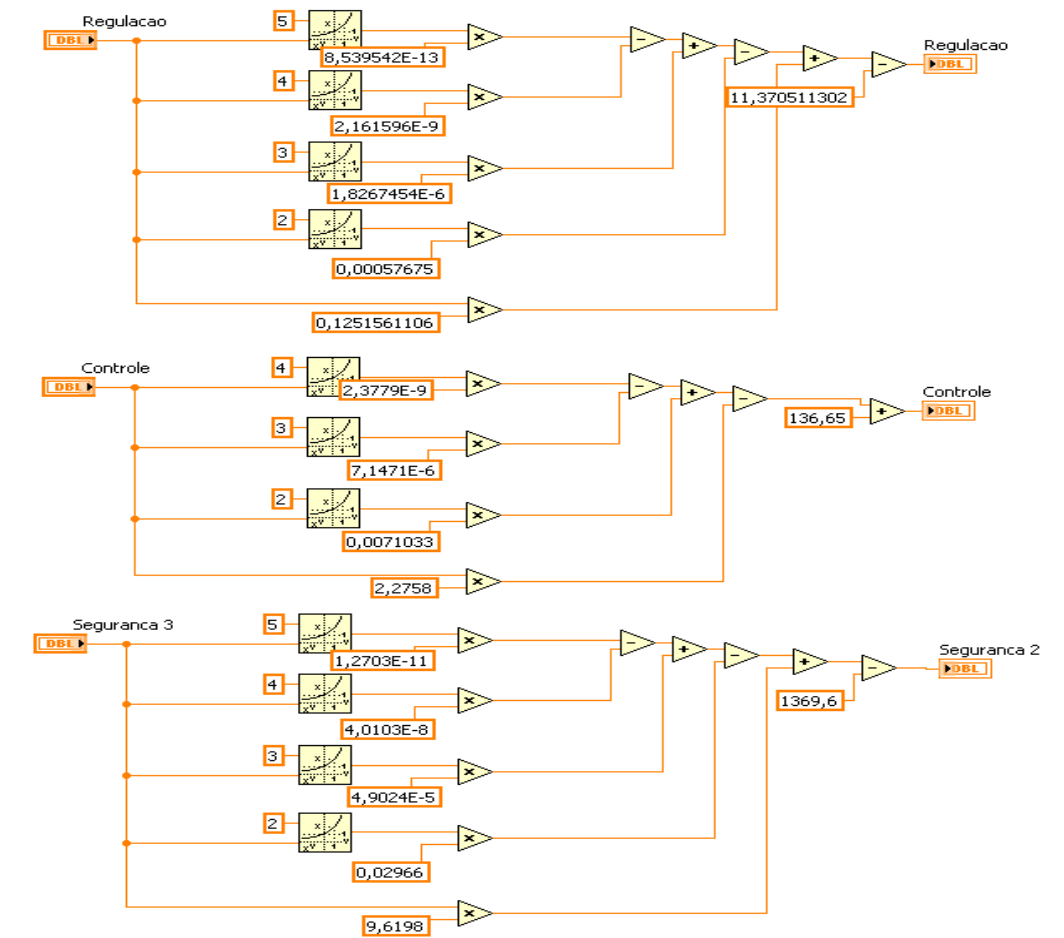
Figura 1: Equação da Barra de Regulação



3. RESULTADOS

O VI que programa as equações das barras de Controle, Segurança e Regulação é apresentada a seguir e exemplifica o trabalho realizado de levantamento, análise e validação da equação que descreve o comportamento de diversos parâmetros operacionais do reator nuclear de pesquisa Triga IPR-R1 (Fig. 2):

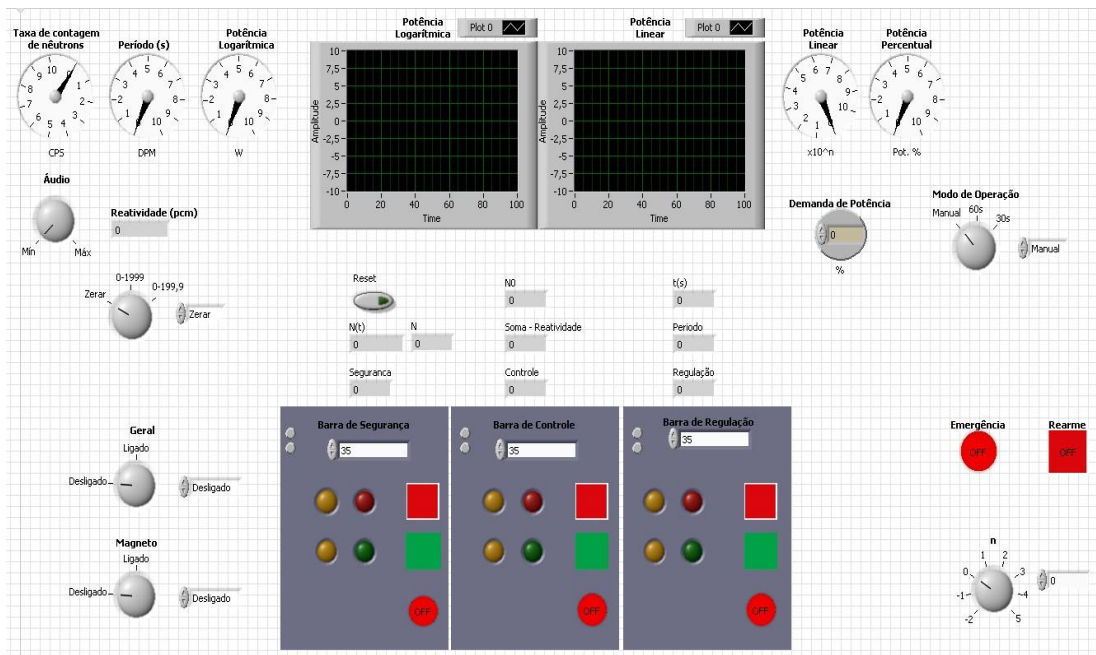
Figura 2: Diagrama de blocos do VI de equação das barras



Fonte: Os autores

Com esse VI validado, fez-se a ligação deste com o VI e a interface visual do simulador do painel central da mesa de controle do reator, de forma a tornar funcional o dispositivo de ajuste da posição das barras. Para isso, foi necessário associar os ajustes de posição das barras para que reconhecesse o padrão de botoeiras, como aparece na mesa de controle, além de acionar *led's* para indicar limite superior e limite inferior. O painel central do VI adaptado para reconhecer o ajuste de posição das barras é mostrado na Fig. 3.

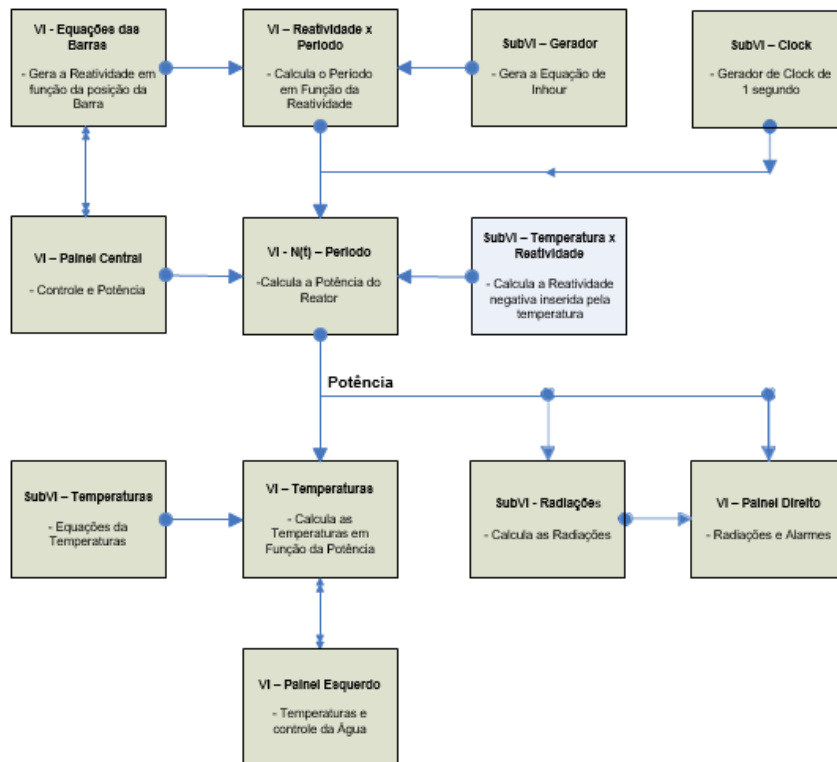
Figura 3: Painel frontal da mesa de controle do reator



Fonte: Os autores

Dando continuidade ao projeto, fez-se um fluxograma [5] para nortear os próximos passos para o desenvolvimento do simulador, como mostrado na Fig. 4:

Figura 4: Fluxograma do sistema simulador do reator [6]



Fonte: Os autores

4. CONCLUSÃO

A mesma metodologia utilizada para determinar as equações das barras e conectá-las à mesa de controle será empregada para conectar as demais equações levantadas e assim tornar funcional, até esta etapa, a simulação de mesa de controle do reator Triga IPR-R1 [7]. Além disso, algumas destas equações, antes de serem conectadas diretamente à mesa de controle, precisam ser interligadas a outros módulos e equações, por isso utiliza-se o fluxograma. Depois de validar todas as equações necessárias para dar início às simulações operacionais do reator e interligá-las à interface visual da mesa de controle do reator, será implementada a lógica de intertravamentos do painel de alarmes, além de exibir os gráficos de potência linear e logarítmica, entre outros parâmetros secundários.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa é apoiada pelas seguintes instituições: Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear (CDTN), Comissão Nacional de Energia Nuclear (Cnen), Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

- [1] A. A. M. Felipe; A. M. F. Lage; A. Z. Mesquita. “Desenvolvimento da Interface Para Usuário do Sistema Digital de Simulação dos Parâmetros Operacionais do Reator Nuclear de Pesquisa Triga IPR- R1”, International Nuclear Atlantic Conference. Belo Horizonte. (2017).
- [2] National Instruments. “Sistemas de Teste, Medição e Embarcados da NI” Disponível em: <<http://www.ni.com/pt-br/shop/labview.html>> Acesso em 30 de julho de 2018.
- [3] R. M. G. P. Souza, “Resultados dos Testes Neutrônicos Realizados no Reator Triga IPR-R1, em 2018 – Núcleo com 63 E. C.”. Nota Técnica CDTN/Cnen. Belo Horizonte. (2018).
- [4] A. Z. Mesquita. “Investigação Experimental da Distribuição de Temperaturas no Reator Nuclear de Pesquisa Triga IPR-R1”. Tese, Faculdade de Engenharia Química da Universidade Estadual de Campinas, Brasil (2005).
- [5] A. M. F. Lage, “Desenvolvimento de Sistema Digital para Simulação dos Parâmetros Operacionais de Reatores Nucleares de Pesquisa”. Projeto de Tese. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia das Radiações, Minerais e Materiais – CDTN/Cnen. Belo Horizonte. (2017).
- [6] A. M. F. Lage, A. Z. Mesquita; A. A. M. Felipe. “Projeto do Sistema Digital para Simulação Gráfica dos Parâmetros Operacionais do Reator Nuclear de Pesquisa Triga IPR-R1” International Nuclear Atlantic Conference. Belo Horizonte (2017).
- [7] General Atomics. “General Atomics & Affiliated Companies”. Disponível em <<http://www.ga.com/>> Acesso em 30 de julho de 2018.

CAPÍTULO 13

LOGÍSTICA DE ESTOQUE: SETOR DE FRIOS EM UMA PADARIA NA CIDADE DE SÃO PAULO

Moisés Cláudio dos Santos

Fatec Zona Leste

E-mail: moises.santos14@fatec.sp.gov.br

Rawelly Beatriz Pereira de Moraes da Silva

Fatec Zona Leste

E-mail: rawelly.silva@fatec.sp.gov.br

Rosana Maria Teixeira Alves

Fatec Zona Leste

E-mail: rosana.alves@fatec.sp.gov.br

Roberto Ramos de Moraes

Fatec Zona Leste

E-mail: roberto.morais@fatec.sp.gov.br

Resumo: O presente artigo é um estudo de caso e uma simulação de fluxo de materiais no setor de frios de uma padaria na cidade de São Paulo, onde foram identificadas faltas constantes de determinados produtos tanto para a venda como para o uso interno. A proposta é apontar melhorias no processo de armazenamento e planejamento de compras destes itens, com intuito de evitar rupturas no abastecimento e ou perdas por prazo de validade vencido.

Palavras-chave: Fluxo de materiais; Produtos de consumo; Falta de produtos.

Abstract: This article is a case study and a simulation of material flow in the cold cuts sector of a bakery in the city of São Paulo, where constant shortages of certain products were identified both for sale and for internal use. The proposal is to point out improvements in the storage process and purchase planning for these items, in order to avoid supply disruptions and/or losses due to expired validity.

Keywords: Flow of materials; Consumer products; Lack of products.

1. INTRODUÇÃO

A concorrência no comércio é imensa nos dias atuais, muitas empresas oferecem os mesmos tipos de serviços ou produtos com preços bem semelhantes. E uma das formas de atrair e manter estes clientes é oferecer-lhes uma boa experiência de compra e ou de serviço. Ele deve ter todas as suas necessidades e expectativas atendidas no contato. que poderá ser físico ou virtual.

Para quem busca fidelizar clientes é imprescindível que tenha uma boa gestão de estoque, por se tratar de uma ferramenta importante, irá determinar boa parte do sucesso da empresa, pois diminui os riscos de falta de produtos, fator que pode gerar grande frustração no cliente.

No Setor de Frios de uma padaria tem produtos perecíveis, as compras para o estoque precisam ser bem planejadas, pois a maioria destes itens necessitam de refrigeração adequada para que se mantenham apropriados para o consumo. Este planejamento deve considerar a quantidade de consumo de um determinado produto durante um certo período, local disponível para o armazenamento seguro, o que irá ajudar a evitar perdas por vencimento dos prazos de validade. Outro item importante também são as embalagens para acomodarem estes itens para a venda.

Nesse setor o índice de perdas pode ser grande, se a quantidade comprada for maior que a demanda, mas isso não justifica permitir a falta de produtos. Se não houver um estoque mínimo, a padaria corre o risco da falta de produtos essenciais e ser obrigada a adquiri-los de forma imediatista em comercio próximo, acarretando demora no atendimento e preços mais altos.

A pesquisa tem como propósito alertar as padarias da importância de conhecerem sua demanda e realizarem um planejamento mais adequado para atender as funções internas e as vendas.

Iremos propor mudança na política de compras que atualmente é baseada no “receio da perda do excesso com o risco da falta de materiais no estoque” para o planejamento com conhecimento da demanda. Indicaremos técnicas para utilizar as ferramentas de gestão logística, introduzindo também a simulação para obter ideias e resolver a falta do estoque e assim contribuindo para serem uma boa referência nas boas práticas no mercado. O bom atendimento e oferecer os produtos que o cliente deseja é imprescindível para a fidelização dele, algo que toda empresa deseja e isso é possível com uma gestão de estoques eficiente.

O objetivo geral do presente trabalho é analisar o comportamento da demanda de frios visando apresentar métricas de indicadores de desempenho de estoque, e o fluxo de materiais sincronizadas com uma política de compras para uma padaria de São Paulo e impedir a falta de estoque.

2. EMBASAMENTO TEÓRICO

2.1 GESTÃO DE COMPRAS E DEMANDA DE PRODUTOS PERECÍVEIS

A decisão tomada no momento da compra é um fator que pode ajudar ou prejudicar a empresa, já que na hora de fazer as escolhas de quais produtos comprar e a quantidade que deve comprar não basta apenas ter o dinheiro suficiente para realizar a compra, tem que fazer a compra de maneira estratégica e pensada de acordo com as necessidades da empresa naquele momento e na demanda existente para cada produto.

Para Parente (2000) a gestão das atividades do processo de compras são as mais críticas. Para o setor de varejo, é preciso equilibrar o ritmo de vendas e o abastecimento de produtos. A quantidade de compras de um período deve ser mantida, isso traz equilíbrio no caixa da instituição.

Segundo Ballou (2001) dentro do canal de suprimentos a gestão entre operação, marketing e compras deve ser feita de maneira equivalente.

O setor de Compras de uma empresa pode fazer uma ponte com o marketing, para conhecer o seu consumo e, conseqüentemente, realizar compras mais acertadas, e não deixar de vender pela falta dos produtos mais procurados.

Para Martins; Alt (2009) e Simões; Michael (2004) as decisões tomadas pela gestão de estoques, além de estar ligado diretamente na competitividade e no bom desempenho da empresa, podem refletir também em estoques eficientes, e, se feita corretamente, contribui na redução de custos e na otimização dos lucros.

Slack et al. (2002) destaca a necessidade de comprar na quantidade correta e principalmente ao preço correto.

Atitudes erradas podem acarretar em perdas não somente financeira, mas também de clientes, já que eles buscam encontrar o que deseja na hora que precisa.

Por isso, Gaither e Frazier (2002) citam a área de compras como imprescindível para objetivos estratégicos da empresa, pois é uma área que age diretamente na entrada de produtos e serviços.

E hoje em dia, com tantas opções disponíveis no mercado, essa área se torna ainda mais importante, já que atrasos podem acarretar em perda do cliente.

Como nem sempre a demanda por um item é algo exato, onde nem sempre se sabe a quantidade que será vendida dos produtos, embora pode-se ter uma noção da demanda, não é diferente com produtos perecíveis, com isso, é importante saber o momento de comprar e a quantidade adequada para comprar, visando não manter produtos perecíveis no estoque por muito tempo, nem em quantidades excessivas. Segundo Santos e Rodrigues (2006, p. 227) “Os itens perecíveis não podem ser mantidos em estoque, sendo requisitados no momento em que serão consumidos”.

2.1.1 Sistema de Reposição

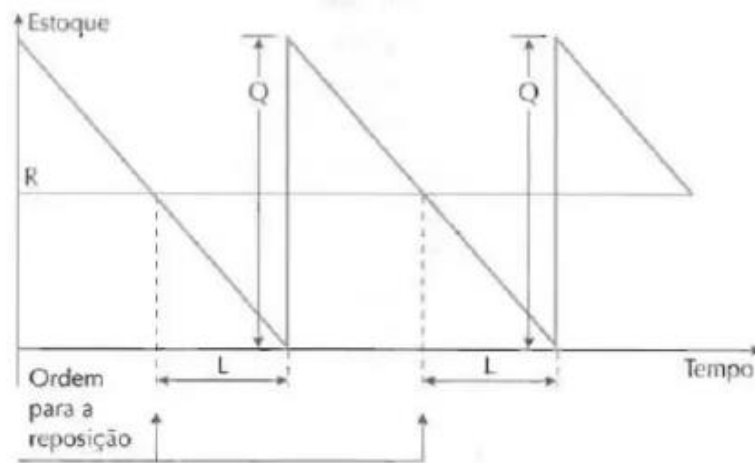
Em relação a concorrência, que dependendo do ramo da empresa, acaba sendo alta, em vista disso, a reposição de estoques se torna importante, já que é preciso ter estoque suficiente para atender toda a demanda que existir, a fim de não acabar perdendo clientes por falta de produtos em estoque no momento adequado.

Para Gonçalves (2004) é importante saber aplicar as ferramentas relacionadas a reposição de estoques, já que atualmente a concorrência acaba sendo grande. Ao utilizar um bom sistema de reposição, com atividades adequadas, o desempenho da empresa pode ser aperfeiçoado, não somente na parte financeira, mas também no que se refere ao manuseio de materiais e nas quantidades de estoques planejadas.

Existem dois sistemas de reposições, os quais respondem à questão de quando e quanto pedir: o sistema de reposições contínuas e o sistema de reposições periódicas (MARTINS; ALT, 2009; MARTINS; LAUGENI, 2005; SLACK et al., 2006).

Sistema de reposições contínua, também conhecido como sistema do estoque mínimo ou sistema do ponto de reposição, serve para calcular um nível de estoque, quando o estoque atinge esse nível, significa que é o momento de fazer a reposição do estoque na quantidade planejada (MARTINS; LAUGENI, 2005).

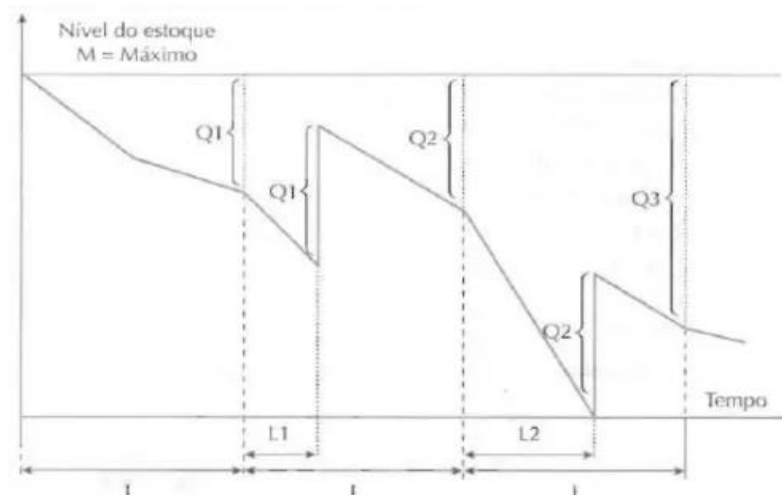
Figura 1: Reposição Contínua



Fonte: Martins; Laugeni (2005, p. 274)

Já o sistema de reposição periódica, chamado também de sistema de estoque máximo, é responsável por fazer a revisão do sistema, no caso analisa o nível de estoque de determinado produto em intervalos de tempo fixos, é feita uma estimativa da quantidade necessária para tornar o estoque máximo, para que seja feita a reposição adequada (MARTINS; LAUGENI, 2005).

Figura 2: Reposição Periódica



Fonte: Martins; Laugeni (2005, p. 284)

2.2 GESTÃO DE ESTOQUES

Segundo Martelli; Dandaro (2015, p.4) O Gerenciamento de estoque nada mais é do que fazer um total planejamento de como controlar os materiais dentro da

organização, trabalhando exatamente com base no que a empresa necessita para as determinadas áreas de estocagem, objetivando manter o equilíbrio entre estoque e consumo. Este controle pode ser mais bem aplicado por meio de sistemas integrados de gestão.

Visando a demanda, o estoque deve ser mantido de modo que supra os clientes, sem ter desperdícios. É importante dosar a compra de itens para o estoque, para evitar a falta de produtos que afetem a venda, mas também sem exageros que acabam enchendo o estoque, de modo que não tenha demanda suficiente.

Segundo Freitas (2008, p.11) “Tornou-se de conhecimento geral que assim como a falta de materiais pode levar a prejuízos econômicos, manter os estoques implica incorrer em custos, algumas vezes bem significativo”.

Para atender as expectativas e gerar bons resultados financeiros a empresa precisa ter uma boa gestão de estoque, segundo Cui et al. (2011) e Muller (2011), a gestão dos estoques é uma atividade relevante para o sucesso da empresa e permite a regulação dos níveis de estoque para garantir a satisfação dos clientes, sem comprometer os ativos com volumes excessivos de estoque.

De acordo com Wanke (2011), a gestão de estoques são decisões que visam interligar a demanda com a oferta de produtos e materiais, onde, para chegar na meta desejada de custo e nível de serviços, precisa das características do produto, da operação e da demanda.

Ainda, segundo Wanke (2012) e Huiskonen (2001), para ter uma gestão de estoque eficaz, é preciso tomar decisões de acordo com a análise dos cenários existentes, em torno das características dos produtos e de sua demanda.

2.2.1 Custo de Falta de Estoque

Freire (2007, p. 17) classifica como um dos custos ligado à gestão de estoques, onde, diz que: “é a soma dos custos gerados pela falta de um item no instante em que é demandado, incluindo lucro cessante ou adiado, custos de produção urgente, etc”.

Definido por Garcia et al. (2006) como custos vindos da falta de estoque que atenda a demanda existente, em determinado instante de tempo. Os mesmos autores citam exemplos das consequências dessa falta, alguns deles são: perdas de venda, deterioração de imagem, pagamento de multas contratuais, perda de market share,

reprogramação de atividades e uso de planos de contingência, como transporte premium (GARCIA et al. 2006, p. 16).

Certas partes de custo não são possíveis de ser calculados com exatidão, mas o custo da falta ocorre quando não se cumpre a entrega do pedido ao fornecedor ou quando o tempo prometido da entrega não é cumprido, gerando atraso. Como consequência, resulta em prejuízos à empresa compradora Koxne; Hausmann; Beuren (2006).

2.3 ESTRATÉGIA DE COMPRAS

Motta (2008, p. 33) define como: “A estratégia de compras seria então um conjunto de ações de responsabilidade da função de Compras, que são realizadas para atingir os objetivos definidos pela estratégia corporativa da empresa”.

A complexidade dos produtos perecíveis é um fator importante, já que são itens que precisam de maior atenção na hora da compra, onde, a perecibilidade dos itens deve ser analisada juntamente com a demanda do mesmo afim de evitar prejuízos.

Para Aung e Chang (2014) o pouco tempo de validade de alimentos perecíveis tornam as cadeias de suprimentos mais complicadas de se gerir.

De acordo com Queiroz (2016, p. 3) “para que o gestor tenha a competência de decidir sobre as aquisições que a organização fará, ele precisa definir uma estratégia de compras, onde poderá analisar fatores como a reação do mercado, estimativas de preço, dentre outros”.

3. DESENVOLVIMENTO DA TEMÁTICA

Nesse tópico será averiguado os conceitos apropriados à metodologia e as ferramentas a serem utilizadas. “Metodologia é a parte onde será indicado o tipo de pesquisa que será empregado, as etapas a serem realizadas” (DE OLIVEIRA; VALENÇA, 2015, p. 2)

O presente trabalho usou o método de pesquisa primária de campo, onde os autores coletaram as informações com o responsável de compras de frios dentro de uma padaria na cidade de São Paulo. Neste estudo de caso as informações da demanda foram coletadas, através de observações no local de vendas dos frios e do contato com o comprador para o melhor entendimento do processo de aquisição na

padaria. Junto com a pesquisa também foi realizada ação com o autor que trabalha no setor em foco. A fundamentação foi em obras e ideias de autores que possuem relevância nos conceitos que serão apresentados nessa análise, os quais serão estudados a partir da pesquisa secundária através de pesquisa bibliográfica.

Para obter respostas acerca dessa pesquisa aplicada no segmento de gestão de estoques foi realizada análise e sugestões de melhorias para a empresa e suas atitudes em relação ao assunto pelo método dedutivo, através da pesquisa analítica.

Por fim, os resultados da pesquisa tiveram abordagem quantitativa por meio de gráficos e tabelas. Foi aplicado o uso de simulação para tentar amenizar o problema da falta de produtos, desde o momento da compra para o estoque até o momento necessário da reposição.

Simulação para Schriber (1974), é citado como : “Simulação implica na modelagem de um processo ou sistema, de tal forma que o modelo imite as respostas do sistema real numa sucessão de eventos que ocorrem ao longo do tempo”

O uso da simulação como ferramenta de análise.

Portanto, o funcionamento de um sistema é analisado pela simulação (MARINS et al., 2016).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente estudo de caso foi realizado em uma padaria tradicional na cidade de São Paulo, localizada na região da Penha desde 1967. Trata-se de uma empresa familiar com gestão passada de geração em geração. Conta com aproximadamente 200 funcionários.

Ficou conhecida pelos seus pães e confeitaria, sendo hoje um centro gastronômico, servindo café da manhã, lanches, pizzas, frango assado etc.

A escolha desse estabelecimento deve-se pelo fato de que um dos autores trabalhar no ponto de venda do produto em foco, mais precisamente no balcão de frios e vem relatar a falta de certo produto muito solicitado pelos clientes. Também relatou a falta deste item para uso interno na produção de lanches e para delivery.

Pesquisa realizada com um dos produtos mais solicitados, a mortadela da marca “Perdigão”. Durante o período de 1 mês (Setembro) foi criada uma tabela com acompanhamento do produto que será apresentada a seguir:

Tabela 1: Acompanhamento da Mortadela

Mortadela Perdigão (Mês)

Data	ENTRADA			SAÍDA			SALDO		
	Quantidade	Custo unitário	Total	Quantidade	Custo Unitário	Total	Quantidade	Custo Unitár	Total
09/09/2020	17	\$3,09	\$52,53				17	\$3,09	\$52,53
12/09/2020	5	\$3,09	\$15,45				5	\$3,09	\$15,45
							22		\$67,98
17/09/2020					7	\$3,09	15	\$3,09	\$46,35
20/09/2020					9	\$3,09	6		\$18,54
24/09/2020	5	\$3,09	\$15,45				5	\$3,09	\$15,45
							11		\$33,99
26/09/2020	7	\$3,09	\$21,63				7	\$3,09	\$21,63
							18		\$55,62
27/09/2020					9	\$3,09	9		\$27,81
					7	\$3,09	2		\$6,18
28/09/2020					2	\$3,09	0		0
30/09/2020	5	\$3,09	\$15,45				5	\$3,09	\$15,45
02/10/2020	12	\$3,09	\$37,08				17	\$3,09	\$52,53
			\$105,06		CMV	\$105,03	Estoque final		\$52,53

Fonte: Os autores

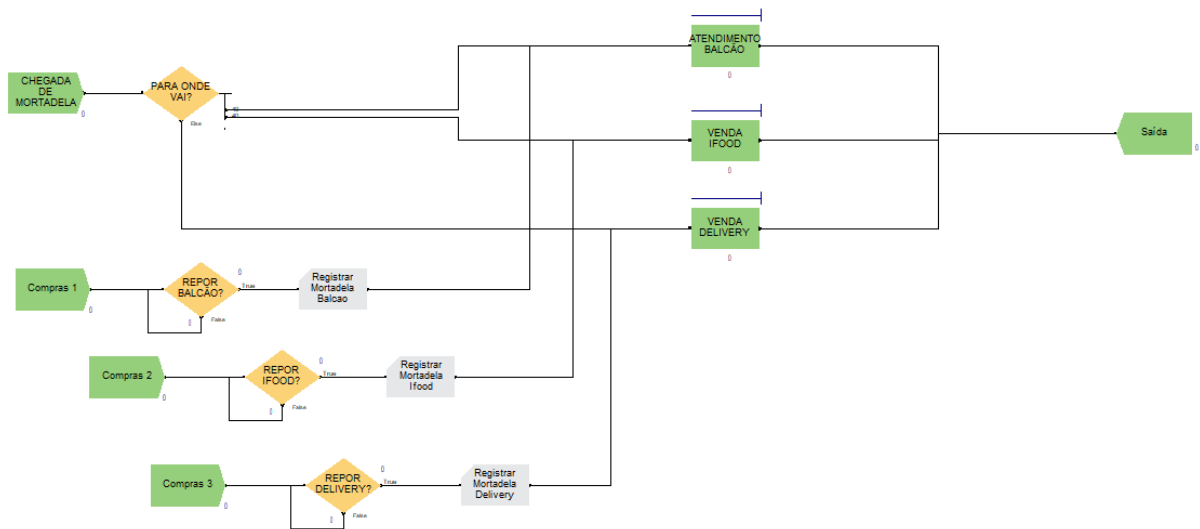
Em entrevista com o responsável pelas compras dos produtos da padaria foi averiguado que a frequência de compra do produto em questão é periódica, ou seja, são realizadas em todas as

Segundas e Quartas Feiras e que é mantido um estoque mínimo no período que para ele é o adequado. Ele tem um fornecedor fixo, mas algumas vezes ele faz a cotação e acaba mudando o fornecedor, mas depois volta a comprar com o antigo.

Montando um modelo no ARENA em um cenário onde a padaria vende mortadela fatiada para os clientes no balcão e delivery, vimos que a empresa adota uma política de não ter estoque por ser um produto perecível. Por conta da pandemia houve a necessidade de adotar o sistema de delivery, aumentando assim a demanda deste item.

Os produtos chegam em 24 horas após o pedido de compra. A cada revisão de compras o gestor deixa no máximo 10 peças penduradas na gôndola do próprio balcão de vendas. A demanda diária do produto gera em torno de 4 a 5 peças de mortadelas por dia (cada peça de mortadela pesa em média 3,45 kg) distribuídos entre bandejas para entrega no delivery e atendimento ao cliente no balcão.

Figura 3: Modelo no Arena



Fonte: Os autores

O balcão e o Ifood são os meios que vendem mais e não tem limite de quantidade, no entanto, o delivery tem quantidade limitada de mortadela por pedido (de 200 gramas). No resultado obtido, o Ifood é o que tem mais ociosidade entre os três, ou seja, precisa comprar mais para supri-los.

O abastecimento que é feito na maioria das vezes não é suficiente para atender a demanda de venda, pois nos finais de semana ela aumenta, sendo insuficiente as 10 peças penduradas, provocando assim o cancelamento do delivery e consequentemente a insatisfação dos clientes.

Para um melhor cenário o ideal seria aumentar o número máximo de peças para não faltar o item nos finais de semana.

Observou-se que a empresa necessita de melhorias e eficiência da sua gestão de estoque, para isso recomendamos:

1. Estoque de segurança para os itens com maior demanda, pois deixar o estoque mínimo e se faltar ir comprar de última hora é uma visão deturpada de eficiência, pois deixando de comprar de acordo com a demanda e consequentemente deixar de vender não é a melhor opção.

2. Ir ao setor periodicamente e verificar com os funcionários quais são os produtos com maior demanda e fazer um controle de estoque, mantendo um estoque reserva para esses produtos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme os estudos realizados neste trabalho, percebeu-se que as padarias são empreendimentos que são responsáveis por oferecer produtos a uma grande parte da população. E na visão do responsável de estoques deste caso, as compras das mercadorias são planejadas de forma periódica e com um estoque mínimo, que na verdade não contempla os produtos de maior saída como o caso estudado e nas práticas diárias a falta dele é substituída por outro de qualidade inferior. Foi verificado também que não existe uma iteração entre os funcionários que atendem no setor de frios e o setor que faz as compras dos itens, pois pelo ponto de vista dos colaboradores há uma carência de comunicação entre o responsável e os funcionários a criarem uma gestão de estoque mais eficaz.

Em relação ao que o gestor diz, um dos autores que atua no ponto de vendas relata algumas divergências do que foi informado: o estoque mínimo que ele mantém, não é para o produto em questão, mas para produtos que tem uma demanda menor. A mortadela ele compra somente depois que zera o estoque, geralmente pelo mesmo fornecedor, mas em alguns casos ele compra em atacadistas próximos para poder atender a demanda no dia até o próximo pedido chegar. No período que ele compra os produtos, não são em quantidades suficientes para atender toda a demanda, por isso que falta. As vezes acontece falta do produto assim que chega o final de semana, deixando assim de atender a um grande número de ao cliente no balcão e do delivery.

O uso da simulação ajudará a entender o fluxo no estoque mostrando na prática através da reprodução do sistema real dentro de um programa, demonstrando os eventos no estoque.

Sugere-se ter estoque de segurança, principalmente para os produtos mais procurados, além de fazer o controle de estoque com o auxílio de quem trabalha no setor, para que possam alinhar melhor a demanda de compras desses produtos de modo que evitem rupturas no processo de vendas e abastecimento.

Desenvolver um ambiente acolhedor, onde as sugestões de melhoria do setor sejam colocadas em prática e gerar interação entre todas as equipes.

REFERÊNCIAS

BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da cadeia de Suprimentos: Planejamento, Organização e Logística Empresarial**. Tradução de Elias Pereira. Porto Alegre: Bookmann, 2001.

CORRÊA, Henrique Luiz. **Gestão de redes de suprimento: integrando cadeias de suprimento no mundo globalizado**. São Paulo: Atlas, 2010.

Cui, L., Zhao, Y., & Zhang, L. **Analysis on inventory management model of a large mining group**. Energy Procedia, 13(1), 10163-10170, 2011.

EMMETT, S. **Excellence in warehouse management: how to minimise costs and maximise value**, 1st. Ed. Chichester: John Wiley and Sons Ltd, 2005.

FREIRE, Gilberto. **Estudo comparativo de modelos de estoque com previsibilidade variável de demanda**. São Paulo, 2007. Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Engenharia de Produção.

FREITAS, R. P. **Controle de Estoque de Peças de Reposição: Revisão da Literatura e um Estudo de Caso**. Rio de Janeiro, 2008. Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial.

GAITHER, Norman; FRAZIER, Greg. **Administração da produção e operações**. 8. ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2002.

GARCIA, Eduardo Saggiore et al. **Gestão de Estoques: Otimizando a logística e a cadeia de suprimentos**. 1 ed. Rio de Janeiro: Editora E-papers, 2006.

Huiskonen, J. **Maintenance Spare Parts Logistics: Special Characteristics and Strategic Choices**. *International Journal of Production Economics*, 71(1-3), pp. 125-133, 2001. D.O.I: [http://dx.doi.org/10.1016/S0925-5273\(00\)00112-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0925-5273(00)00112-2)

KOXNE, Daniele Comandoli; HAUSSMANN, Darclê Costa Silva; BEUREN, Ilse Maria. Um estudo do controle e dos custos dos estoques: O caso de uma empresa comercial varejista importadora. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 3., 2006,

Resende. **Anais eletrônicos...** Resende, 2006. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos06/875_Seget%202006%20-%20Custos%20dos%20estoques.pdf> Acesso em: 13 out. 2020.

MARINS, André; MAIELLARO, João Roberto; SILVA, Beatriz pires da; SILVA, Flávio Ferreira da; SILVA, Hélio Augusto da; ALMEIDA, Najara Loyolade Melo. USO DA SIMULAÇÃO COMO APOIO À DECISÃO NO SETOR DE CHECK-IN NO AEROPORTO DE GUARULHOS. **SADJS - South American Development Society journal**, São Paulo, Brasil., v.2, Nº. 4: p.102-117, 2016.

MARTELLI, Leandro Lopez; DANDARO, Fernando. Planejamento e controle de estoque nas organizações. **Revista Gestão Industrial**, Ponta Grossa, v. 11, n. 02: p.170-185, 2015. D.O.I: 10.3895/gi.v11n2.2733

MARTINS, P. G.; LAUGENI, Fernando P. **Administração da Produção**. 2. ed. rev. aum. e atual. - São Paulo: Saraiva, 2005.

MARTINS, Petrônio Garcia; ALT, Paulo Renato Campos. **Administração de Materiais e Recursos Patrimoniais**. São Paulo: Saraiva, 2009.

MULLER, M. **Essentials of inventory management**. New York: AMACOM, 2011.
PARAGON, Software ARENA® Disponível em:
<<https://www.paragon.com.br/academico/o-que-e-simulacao/>> Acesso em: 26 de abril de 2021.

PARENTE, Juracy. **VAREJO NO BRASIL – Gestão estratégica**. São Paulo. Atlas, 2000.

PINTO, C. V. - **Organização e Gestão da Manutenção**. 2. ed. Lisboa: Edições Monitor, 2002.

SANTOS, Antônio Marcos dos; RODRIGUES, Iana Araújo. Controle de estoque de materiais com diferentes padrões de demanda: estudo de caso em uma indústria química. **Gest. Prod.** São Carlos, vol.13, no.2: p. 223-231, May/Aug. 2006 D.O.I: <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2006000200005>

SIMÕES, E; MICHEL, M. Importância da gestão de compras para as organizações. **Revista Científica Eletrônica de Ciências Contábeis**. Ano II, nº. 3, maio 2004.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSSTON, R. **Administração da produção**. 3ª. Ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SLACK, Nigel et al. **Administração da Produção**. 1. ed. 10. reimpr. São Paulo: Atlas, 2006.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Start; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**. Tradução de Maria Teresa Correa de Oliveira e Fabio Alber. Revisão técnica Henrique Luiz Corrêa. São Paulo. Atlas AS, 2002.

WANKE, P. **Gestão de Estoques na Cadeia de Suprimentos: Decisões e Modelos Quantitativos** (Vol. 3º). São Paulo: Atlas, 2011.

WANKE, P. Quadro Conceitual para Gestão de Estoques: Enfoque nos Itens. **Gestão & Produção**, v. 19 (ed. 4), pp. 677-687, 2012.

CAPÍTULO 14

UM FUTURO DE POSSIBILIDADES: LOGÍSTICA REVERSA E REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS TÊXTEIS

Juliana Nogueira Silva Barbosa Santos

Fatec-Sebrae

E-mail: juliana.santos114@fatec.sp.gov.br

Vanessa Cristina da Silva

Fatec-Sebrae

E-mail: vanessa.silva108@fatec.sp.gov.br

Sidionei Onézio Silveira

Fatec-Sebrae

E-mail: sidionei.silveira@fatec.sp.gov.br

Resumo: A gestão da logística reversa tem sido considerada no âmbito têxtil como alternativa de minimizar os impactos ambientais, destinando corretamente os resíduos têxteis, evitando que seu descarte seja feito juntamente com o lixo comum, provendo novas utilidades e aplicabilidades, enquanto durar o seu ciclo de vida. Para tanto, o presente artigo visa apresentar a problemática referente ao descarte irregular de substratos têxteis e seus derivados e como ações pautadas em economia circular e reciclagem, podem incentivar a reflexão e atitudes de produção e consumo conscientes, tanto no contexto industrial quanto no consumo doméstico. Por meio de material bibliográfico e webgrafia, concatenados as aulas de logística empresarial e experiência das autoras na área têxtil, permitiu identificar e discorrer sobre iniciativas que viabilizam o descarte consciente de materiais têxteis e o quanto essas, podem impactar positivamente nas esferas econômicas, sociais e ambientais.

Palavras-chave: Resíduos têxteis; Logística reversa; Reciclagem.

Abstract: The management of reverse logistics has been considered in the textile field as an alternative to minimize environmental impacts, correctly disposing of textile waste, preventing its disposal from being carried out together with ordinary garbage, providing new utilities and applicability, for the duration of its life cycle. . To this end, this article would like to present the problem related to the irregular disposal of textile substrates and their derivatives and how actions based on circular economy and recycling can encourage reflection and conscious attitudes of production and consumption, both in the industrial context and in domestic consumption. Through bibliographic material and webgraphy, concatenating the classes of business logistics and the authors' experience in the textile area, it allowed to identify and discuss initiatives that enable the conscious disposal of textile materials and how much these can positively impact in the economic, social and economic spheres. environmental issues.

Keywords: Textile waste; Reverse logistics; Recycling.

1. INTRODUÇÃO

Em 2014, a indústria têxtil nacional posicionada como a terceira maior produtora de tecidos do mundo, já era responsável por descartar cerca de 170 mil toneladas de resíduos (Barata, 2018) e cerca de 80% desse valor vai para os aterros sanitários, juntamente com o lixo comum. Outro fator de destaque é que esses materiais, dependendo de sua composição, pode levar meses ou anos para se decompor, trazendo enormes danos aos lençóis freáticos, contaminando o solo e emitindo gases danosos, provocando avanços no efeito estufa e aquecimento global (PENSAMENTO VERDE, 2018).

Muitas têm sido as estratégias junto ao consumidor final, para evitar o descarte equivocado ou até mesmo desnecessário de peças do setor têxtil. Brechós, onde a compra e venda de roupas incentiva circulação de roupas a baixos custos, estabelecimentos de troca, onde o indivíduo pode levar suas roupas, passar por uma curadoria avaliando o “valor” que ele pode trocar por outras peças disponíveis em seus estoques, as doações para famílias de baixa renda, ONGs e casas de acolhimento, reunindo roupas em bom estado que hoje, indesejadas, são redistribuídas para quem as precisa.

Existem também soluções como o *upcycling*: técnica de confeccionar novos artigos de vestuário, decoração e uso doméstico, a partir de outras já usadas ou com defeito. Outra aplicação dessa modalidade se dá em confeccionar novos itens através de retalhos ou sobras de tecidos, através da mão de obra de artesãos (ECYCLE, 2010).

No nível de iniciativa, existe a *Zero Waste International Alliance* ou ZWIA (2016), citada por Amaral (2016, p.61) caracterizada como um movimento internacional criado para:

promover alternativas positivas ao aterramento e incineração de matérias-primas recicláveis e reutilizáveis, e busca conscientizar a comunidade sobre os benefícios sociais e econômicos obtidos quando os resíduos passam a ser considerados como uma base de recursos sobre os quais podem ser construídas novas oportunidades de negócios (ZWIA, 2016 *apud* AMARAL, 2016).

Entretanto, essas ações ainda estão bastante no campo das ideias, comparadas ao montante que é descartado diariamente em aterros, lixões a céu aberto e também, no lixo doméstico. A seguir pretendemos desenvolver melhor sobre empresas e ações práticas como propostas de movimento do setor de reciclagem dos resíduos têxteis, logística reversa e economia circular no Brasil.

Além dessas alternativas, destaca-se a importância da colaboração de diretores e gestores na adequação de processos produtivos dentro das empresas para que os resíduos passem a ser encarados como parte do processo e não como externalidade. A mudança desse cenário deve partir não só das organizações, como também do consumidor final. Para tanto, esse estudo apresenta iniciativas de pequena escala (têxteis de uso doméstico) até escalas industriais (toneladas de tecido com defeitos).

Disseminar o conceito de responsabilidade social dentro das empresas é uma das necessidades emergentes no panorama das indústrias têxteis. Esse entendimento, aos poucos, consolida os objetivos de longo prazo das organizações (MACHADO; CANDEIA; FARIAS, 2019).

A partir da lógica linear os custos para cuidar de situações encaradas como externas à organização estão diluídos entre os agentes de mercado ou recaem no setor público. “A transição para o modelo regenerativo e restaurativo que garanta maior durabilidade e longevidade dos produtos confere a necessidade de internalizar esses custos” (BERARDI, 2018), que não são entendidos como parte da precificação da produção e do consumo.

É necessário um conjunto de competências político- econômicas nas esferas pública e privada para tratar de tais questões, como: “conformidade legal e normativa, políticas públicas facilitadoras, lideranças empresariais” (BERARDI, 2018).

O presente artigo aborda a problemática da alta geração de resíduos têxteis, apresentando o funcionamento da cadeia têxtil, suas matérias primas e como iniciativas de logística reversa podem minimizar os impactos causados pelo descarte incorreto.

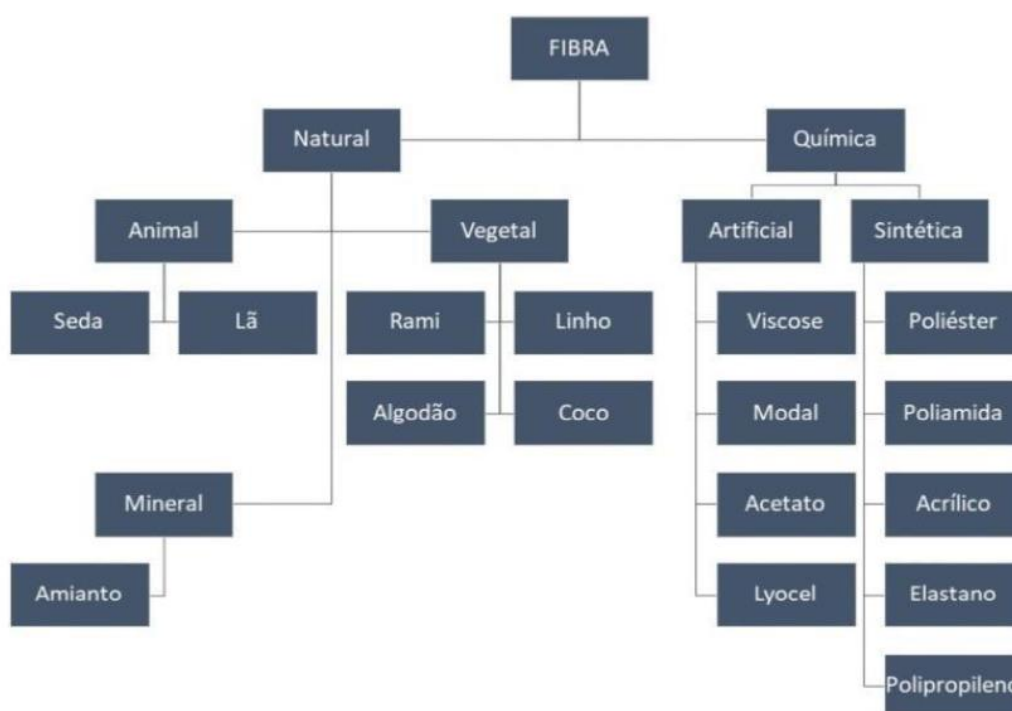
2. PANORAMA DE TÊXTEIS E DERIVADOS

O termo têxtil, comumente aplicado a tecidos, estende-se a filamentos e fios, além de materiais que sejam tecidos, fiados, acolchoados, rendados e bordados ou até mesmo, que sejam fabricados a partir desses materiais (CENTER FABRIL, 2018). Entretanto, tais matérias primas derivam das fibras e, para ser considerada uma fibra têxtil, esse material deve ser flexível, resistente, ser macio, além de apresentar a capacidade de receber água, absorver umidade, alongamento e poder voltar ao estado de origem, após sofrer compactação. Assim, uma fibra têxtil deve proporcionar conforto ao uso.

2.1 FIBRAS TÊXTEIS

As fibras são divididas em dois grandes grupos, conforme Figura 1, fibras naturais que contemplam origem animal, vegetal e mineral e fibras químicas, abrangendo a classe de fibras artificiais e sintéticas. Fibras naturais, como o próprio nome diz, são aquelas extraídas da natureza e através de uma série de processos, tornam-se aptas ao uso têxtil. Já as fibras químicas desenvolvidas a fim de minimizar a influência das intempéries e deficiências naturais, são obtidas por meio de sínteses químicas, em sua maioria a partir do petróleo.

Figura 1: Classificação das fibras



Fonte: Os autores

2.2 TECIDOS E A CADEIA TÊXTIL

Os tecidos, que podem ser formados por fibras naturais ou químicas são conhecidos por advir, em sua maioria, às roupas, estofados, toalhas, por exemplo. O desenvolvimento de tais artigos do vestuário e revestimento, por melhor que seja o aproveitamento de sua matéria prima, geram resíduos.

Esses materiais têxteis são desenvolvidos por quatro grandes áreas: fiação, tecelagem, malharia, acabamento/beneficiamento (PEREIRA, 2009) e acrescida a área de confecção, dão origem a chamada cadeia têxtil, conforme a **Figura 2**.

Figura 2: Cadeia Têxtil



Fonte: Os autores

No que tange a área de fiação, a maior parte dos resíduos se dá por fibras naturais. Essa denominação abrange fibras vegetais e animais. Ou seja, algodão, linho, rami, lã, seda e as variações dessas fibras. Isso se dá por serem fibras colhidas na natureza e com elas pequenas galhos, folhagens e sujeiras que devem ser retiradas para iniciar o processo de fiação.

Os tecidos podem ser planos ou malhas. Entende-se por tecido plano, todo substrato têxtil composto por trama e urdume. Ou seja, desenvolvido pelo entrelaçamento de fios tanto na horizontal (trama) como na vertical (urdume). Para obter esse tipo de tecido, é necessário que esse seja confeccionado no setor de tecelagem. Já as malhas, desenvolvidas pelo setor de malharia são feitas por laçadas e essas, na mesma direção horizontal.

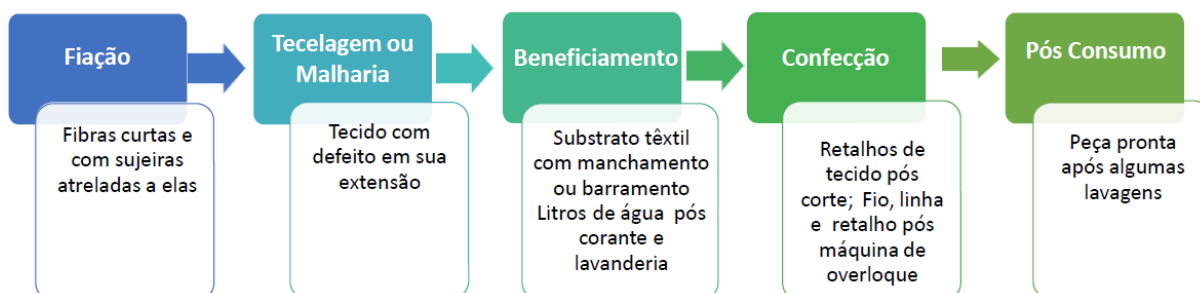
Os defeitos mais comuns nesses setores comumente estão nos ligamentos, isto é, a combinação de fios escolhida para o tecido final. Outra possibilidade se dá com o defeito ou manuseio incorreto do maquinário, sendo importante acompanhar a produção para que o problema seja solucionado de forma rápida, minimizando o desperdício.

O setor de beneficiamento destaca-se como o de maior descarte de resíduos, tanto sólidos quanto presentes na água. Esse setor consiste em limpeza, tingimento, acabamento, melhor maleabilidade e estamparia, por exemplo.

Entretanto, é na etapa de corte e confecção que se concentra o maior número de resíduos sólidos de produtos pré-consumo que se tem conhecimento. Após a modelagem de uma roupa ser finalizada, essa informação é enviada para o corte, buscando o melhor aproveitamento e rendimento possível do tecido em questão. Porém, esse aproveitamento se dá em torno de 85% do tecido, sendo inevitável a

produção de retalhos e o descarte de papel usado nesse processo. Em seguida, a peça cortada é direcionada para a costura e essa é responsável por resíduos de fios, linhas e pequenos retalhos gerados pela máquina de overloque (máquina de acabamento). O diagrama, conforme a **Figura 3** identifica em cada etapa as perdas e subprodutos.

Figura 3: Diagrama de subprodutos e perdas durante o processo da cadeia têxtil



Fonte: Os autores

3. SUSTENTABILIDADE EMPRESARIAL NO SETOR TÊXTIL

Nos últimos anos, as questões ambientais adentraram os negócios e mostraram a capacidade de se criar valor às marcas e empresas. Com o mundo cada vez mais globalizado, as organizações foram levadas a incorporar a dimensão socioambiental na gestão, buscando associar suas marcas a projetos, iniciativas e parcerias que acresçam às suas imagem como empresas modernas. Por outro lado, os gestores recebem uma avalanche de informações, banalizando as práticas e as políticas de responsabilidade social e os processos de gestão. Segundo a definição do Instituto Ethos (2013):

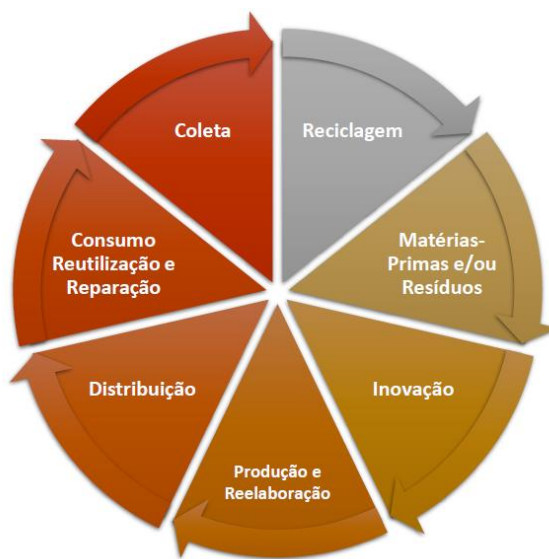
O conceito de desenvolvimento sustentável está hoje totalmente integrado ao conceito de responsabilidade social: não haverá crescimento econômico em longo prazo sem progresso social e também sem cuidado ambiental. Todos os lados devem ser vistos e tratados com pesos iguais. Mesmo porque estes são aspectos inter- relacionados. Da mesma forma que o crescimento econômico não se sustenta sem uma equivalência social e ambiental, programas sociais ou ambientais corporativos não se sustentarão se não houver o equilíbrio econômico da empresa (Instituto Ethos, 2013).

A incorporação dos conceitos de sustentabilidade e responsabilidade socioambiental pelas empresas requer a adequação de processos produtivos e isto implica em estabelecer novas soluções para os resíduos gerados em seus processos. Os resultados colhidos pelas empresas podem ser financeiros, mas é notável que a

Responsabilidade Ambiental cresce a importância dos aspectos sociais e ambientais na avaliação dos stakeholders e ganhos reais para todo o sistema que aos poucos passa a ser cada vez menos linear.

E deste modo a Economia Circular, conforme a **Figura 4** é uma alternativa atraente que busca redefinir a noção de crescimento, de forma ampla, visando benefícios para toda a sociedade. Isto envolve dissociar a atividade econômica do consumo de recursos finitos, e eliminar resíduos do sistema por princípio. O modelo circular constrói capital econômico, natural e social, e se apoiado por uma transição para fontes de energia renovável, pode trazer diversos ganhos ao sistema como um todo. Esta Economia se baseia em três princípios: eliminar resíduos e poluição desde o princípio; aumentar a vida útil dos materiais ao reinseri- los ao sistema; regenerar sistemas naturais (AZEVEDO, 2015).

Figura 4: Representação Gráfica do Ciclo da Economia Circular



Fonte: Os autores

Deste modo, a transformação para a implementação de o modelo circular baseado em regeneração e restauração de materiais precisa de mais do que apenas uma mudança conceitual da lógica de degradação e desperdício de recursos. Essa mudança apresenta uma série de desafios representados na economia linear como problemas externos às organizações.

4. SOLUÇÕES E ALTERNATIVAS PARA O DESCARTE ADEQUADO E LOGÍSTICO REVERSA DE RESÍDUOS TÊXTEIS

4.1 INDÚSTRIAS BRASILEIRAS DE RECICLAGEM TÊXTIL

Na busca de elaborar um mapeamento digital preliminar do número de empresas que em 2021 fazem reciclagem de tecidos no Brasil, foram listadas 22 (vinte e duas) empresas. Essa lista pode ser elaborada a partir de uma pesquisa desenvolvida por Mariana Amaral (2016), acadêmica da USP, em que foram mapeadas 21 (vinte e uma) empresas que fazem a reciclagem de tecidos.

Em comparação a Listagem elaborada em 2016, 5 (cinco) empresas entre as citadas não foram localizadas. Ou porque estão permanentemente fechadas ou por possíveis trocas de nomes. Ao passo que foram encontradas em nosso mapeamento 6 (seis) novas empresas atuantes no ramo. São elas: Cartonagem Ipiranga, Comércio Arantes, Inovar Ambiental, N N Comércio, Recrie Ambiental e Retalhar. Assim como no panorama observado por Mariana (2016), essas empresas ficam concentradas principalmente nas regiões Sul e Sudeste (**Tabela 1**), majoritariamente em São Paulo e Santa Catarina.

Tabela 1 Levantamento de empresas brasileiras de reciclagem têxtil

Tabela 1 - Levantamento de empresas brasileiras de reciclagem têxtil			
Empresa	Endereço Eletrônico	UF	Endereço Físico
Multicor	www.multicor.ind.br	CE	Rua José de Almeida, 1977 - Sítio Cardeais - Jaguaruana
Inovar Ambiental	www.inovarambiental.com.br	MG	Av. Beira-Rio, 6058 - Distrito Industrial Simão da Cunha, Santa Luzia
Lonatex	www.lonatex.com.br	MG	R. José Joaquim, 719 - Varginha, Itajubá
Patamuté	www.fiacaopatamute.com.br	PB	Via de acesso da BR 230 KM 496, s/n - Aeroporto, Cajazeiras
Super fios	www.superfios.com.br	PE	Rua Rio Saberé, s/n - Paratibe - Paulista
Maxitex	www.maxitex.com.br	RS	R. Campeiro, 197 - Nova Sapucaia, Sapucaia do Sul
Ecofios	www.ecofios.com.br	SC	Rua Araponguinhas 89, Araponguinhas - Timbó
Eurofios	www.euroroma.com.br	SC	R. Hermann Hering, 1160 - Bom Retiro, Blumenau
PG Fios	SEM SITE	SC	R. Fritz Lorenz, 3601 - Distrito Industrial, Timbó
Cartonagem Ipiranga	SEM SITE	SP	Rua Luiz Suzigan, 266 - Mollon, Sta. Bárbara d'Oeste
Comércio Arantes	SEM SITE	SP	R. Ingás, 532 - Jardim Ipiranga, Americana
Eco Simple	www.ecosimple.com.br	SP	Rua da Juta, 358 Dis. Industrial Abdo Najjar - Americana
Flocos Fibra	www.flocosfibra.com.br	SP	R. Seg Gregório Belodi, 114 - Jardim Paraíso - Várzea Paulista
Grupo Wolf	www.grupowolf.com.br	SP	Av. Manoel Nieto Lopez, 1895, Jardim Bandeirantes - Araraquara
H3polímeros	www.h3polimeros.com.br	SP	R. Iguatemi, 192 - Itaim Bibi, São Paulo
JF Fibras	www.jffibras.com.br	SP	Estr. Sete Pontes, 291 - Chácara Estância Paulista, Suzano
Korea Têxtil	www.koreatextil.com.br	SP	Rua São Roque, 885 Itaquaquetuba
N N Comércio	SEM SITE	SP	Estr. Geraldo Miranda, 291 - Chácara Estância Paulista, Suzano
Renovar Textil	www.renovartextil.com.br	SP	R. São João, nº 340 - Jardim Soeiro, Ferraz de Vasconcelos
Retalhar	www.retalhar.com.br	SP	Av. Cardeal Santiago Luís Copello, 115 - Vila Leopoldina, São Paulo
Ober	www.ober.com.br	SP	Av. Industrial Oscar Berggren, 572, Pq. Industrial Recanto - Nova Odessa
Recrie Ambiental	www.recrieambiental.com.br	SP	R. Loanda, 03 - Penha de França, São Paulo

Fonte: dados atualizados pelas autoras, a partir da tabela construída por AMARAL (2016, p.66).

É importante observar que a proposta dessa listagem não finaliza este mapeamento, haja visto que existe no Brasil um grande número de empresas não incluídas à realidade digital, mas que atuam fortemente em suas regiões. Este mapeamento foi feito apenas utilizando recursos digitais, e só puderam ser encontradas empresas inseridas nos meios de pesquisa online a partir de palavras chave, endereço físico ou endereço digital próprio.

4.2 LOGÍSTICA REVERSA

A logística reversa é, segundo o Ministério do Meio Ambiente (SINIR, 2018) um instrumento de desenvolvimentos social e econômico que inclui diversas ações, procedimentos e meios para fazer a coleta e a restituição dos resíduos sólidos para o setor empresarial, ou seja, sua reinserção no seu próprio ciclo ou em outros ciclos produtivos. O reuso não seja uma possibilidade, deve-se fazer a destinação ambiental correta do material.

Nos últimos anos o setor de logística vem sofrendo uma série de adequações. O que antes se restringia a entrega de produtos, hoje compete inclusive, a destinação dos produtos após a venda e o descarte após o uso. Para LEITE (2002, p. 2), logística reversa se refere

a área da Logística Empresarial que planeja, opera e controla o fluxo, e as informações logísticas correspondentes, do retorno dos bens de pós-venda e de pós - consumo ao ciclo de negócios ou ao ciclo produtivo, através dos Canais de Distribuição Reversos, agregando-lhes valor de diversas naturezas: econômico, ecológico, legal, logístico, de imagem corporativa, entre outros.

Assim, logística reversa, se refere a um conjunto de medidas que visam destinar e/ou reaproveitarem, os resíduos sólidos gerados por todo o processo produtivo das empresas. No que diz respeito à cadeia têxtil e seus processos produtivos, trata de destinar adequadamente, retalhos, fios, linhas e todo substrato têxtil e roupas dispensadas no meio ambiente, e que esses resíduos tenham uma destinação mais adequada, não na forma como demonstra a **Figura 4**. É importante ressaltar que há medidas não só para as empresas como para o consumidor final a fim de destinar corretamente as roupas danificadas ou desgastadas pelo tempo de uso. A Logística Reversa serve de modo geral para

incentivar o reuso, a reciclagem e a destinação ambientalmente adequada dos resíduos; aumentar a vida útil dos aterros sanitários, desviando estes resíduos que podem ser reinseridos na cadeia produtiva; compartilhar a responsabilidade pela gestão de resíduos (setor público, setor privado e sociedade civil); aumentar a eficiência no uso de recursos naturais; ampliar a oferta de produtos ambientalmente amigáveis, gerando emprego e renda; espaço para gerar novos negócios (SINIR, 2021).

A partir de 2010 foi instituída a chamada Política Nacional de Resíduos Sólidos, a PNRS, composta princípios, objetivos e diretrizes, assegurando que o esse material seja gerido e gerenciado corretamente na sociedade.

A lei 12.305, datada de 02 de agosto de 2010 é composta por 19 definições. A de número 12 define logística reversa como um

instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada (VG RESÍDUOS, 2020).

A compensação ambiental é uma das formas para comprovação da logística reversa de embalagens em cumprimento à PNRS. Por ela, as empresas compensam uma quantidade de resíduos equivalente à que foi gerada com a reciclagem de outra embalagem de material equivalente.

A logística reversa também pode ser feita por meio da implantação de Pontos de Entrega Voluntária (PEV), que é a instalação de um ou mais pontos físicos que viabilizem a entrega, pelo consumidor, de seu resíduo de acordo, ou também por meio da doação de equipamentos ou a prestação de consultorias e treinamentos para as cooperativas locais.

Em todos os casos, deve ser comprovada a logística reversa de pelo menos 22% sobre a massa de embalagens colocada no mercado, ou seja, que chegou até o consumidor final. Essa meta está prevista no acordo setorial de embalagens firmado em 2015 que, de acordo com o Decreto Federal n.º 9.177/2017 deve ser cumprido também pelos seus não signatários (todos os fabricantes, importadores, distribuidores e varejistas de produtos comercializados em embalagens) (SINIR, 2019).

Destaca-se que, independentemente da maneira escolhida para fazer a logística reversa, é preciso comprovar o atingimento das metas, sendo os certificados com base na compensação ambiental um comprovante robusto de fácil aquisição e que garante a remuneração às cooperativas, associações e centrais de triagem em geral, trazendo mais autonomia e profissionalização para esses trabalhadores.

A logística reversa pós-venda refere-se à operação e fluxo de informações logísticas de bens de pós-venda, usados ou com pouco uso que, por diferentes motivos,

retornam às etapas da cadeia de distribuição (REIS; RAVAZZI; MELLO, 2013). Trata-se em sua maioria de substratos têxteis com finalidade para o vestuário e estofamento que frequentemente rumam para destinação incorreta, através de incineração ou dispensada juntamente com o lixo orgânico.

Para o presente artigo, adotou-se a definição de logística reversa de pós-consumo, como o planejamento e controle de bens em estágio final de ciclo de vida útil, já que esses foram demasiadamente usados. Entretanto, tanto funcionalidade quanto utilidade, pode encontrar outra destinação, protelando assim, a vida útil desses bens. Assim, após essa nova forma de uso findar, seus resíduos costumeiramente destinam-se como os bens de pós venda, sendo descartados em aterros sanitários com o lixo urbano, contribuindo com o impacto negativo ao ambiente (GUARNIERI; KOVALESKI; STADLER; OLIVEIRA, 2005).

4.2.1 Outros Agentes Facilitadores da Cadeia de Reciclagem Têxtil

Entre os mais diversos desafios, a cadeias produtivas brasileiras estão as necessidades de se estabelecerem novas parcerias e colaborações para incluir e agregar operações de manutenção ou remanufatura, com o conseqüente aumento da complexidade de operações e logística de um país com dimensões continentais.

Fazer a gestão da cadeia reversa em escala global significa atuar com múltiplos parceiros reversos, garantindo a qualidade do fluxo dos materiais com a mesma sofisticação e complexidade da distribuição direta. Nesse sentido é válido ressaltar três ideias de empresas que têm obtido notável crescimento e oferecem soluções urgentes que estão sendo ou poderiam ser replicadas para a cadeia de reaproveitamento de resíduos têxteis.

A primeira classe de ideias de empresa que poderia ser replicada no setor têxtil é a que atua com um modelo de compensação ambiental aplicado à logística reversa que visa atender a realidade social e econômica única do Brasil, assim como faz o setor de embalagens a empresa chamada *EuReciclo*.

Ao adotar a solução *EuReciclo*, as empresas destinam recursos para a cadeia de reciclagem a fim de mitigar o impacto ambiental de suas embalagens pós-consumo e recebem em troca Certificados de Reciclagem. Os Certificados comprovam que uma determinada massa de embalagens dentro dos grandes grupos (papel, plástico, vidro ou metal) foi direcionada à reciclagem pelos operadores. “Para cumprir as metas de

logística reversa de embalagens pós-consumo definidas nacionalmente, as empresa” (EURECICLO, 2020). Essa solução aplicada à cadeia têxtil poderia facilitar ou incentivar a circularidade principalmente nas empresas que vendem produtos ao consumidor final, com vestuário e itens de uso doméstico que em sua maioria são descartados erroneamente.

Outra iniciativa que pode ser amplamente estendida em larga escala ao setor têxtil em todas as partes da cadeia é a soluções de serviço oferecidas pela empresa *VG Resíduos*. A instituição desenvolveu um *marktplace* com o objetivo de facilitar a compra e venda de resíduos de várias espécies. Assim, as empresas interessadas em vender ou comprar resíduos podem fazer seus anúncios e encontrar de maneira facilitada que os tem em disponibilidade. É possível também através do site encontrar destinadores certificados e negociar de forma fácil e segura (VG RESÍDUOS, 2020).

Por fim, outra solução muito interessante, inclusive para pequenas empresas com volumes menores de resíduos é a ideia proposta pela empresa *Banco De Tecidos* que oferece sistema de troca e venda de retalhos têxteis. A iniciativa é dedicada à circulação de tecidos de reuso e soluciona a sobra de produção de tecelagens, confecções e ateliês, recolocando este material no mercado, através de um sistema misto de troca e venda.

O desenvolvimento do mercado de reaproveitamento de resíduos têxteis está em construção. Essas são apenas algumas iniciativas nesse sentido, mas o campo de ideias e projetos a serem desenvolvidos -principalmente do ponto de vista da logística reversa- é extremamente vasto e pode transformar o sistema de produção de várias maneiras, trazendo benefícios à toda sociedade.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os princípios da economia circular revelam sua característica desafiadora como a criação de modelos de negócios que agreguem valor ao produto manufaturado; criação de produtos de múltiplas utilidades; desenvolvimento de uma logística reversa que mantenha a qualidade e o custo de forma equilibrada; e principalmente a coordenação dos atores dentro e entre as cadeias de suprimento para criar escala e identificar usos de maior valor (BERARDI, 2018).

A logística reversa dentro deste contexto tem um papel crucial na transformação do sistema linear em um modelo econômico mais sustentável que

abranja e resolva as externalidades negativas dos processos produtivos de qualquer escala.

Iniciativas conjuntas dos setores público e privado, aliadas a hábitos conscientes dos consumidores, podem trazer grandes transformações práticas à sociedade como um todo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Não há de se ignorar que um grande desafio atrelado a toda a problemática da logística reversa e reutilização de resíduos têxteis estão ligados à logística de coleta e transporte dos resíduos e seu alto custo. Além do baixo valor da matéria-prima a ser utilizada e do valor pago ao produto final da reciclagem, o transporte o material pelo país é desafiador e já conhecido comumente como “Custo Brasil” que nestes casos pode acabar com os lucros provenientes do processo de reciclagem, que por si só tem seu custo de mão de obra, energia e maquinário adequados. Assim, a logística tem papel fundamental para o sucesso das empresas do setor para a manutenção da competitividade.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, Mariana Correa do. **Reaproveitamento e reciclagem têxtil no Brasil: ações e prospecto de triagem de resíduos para pequenos geradores**. 2016. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/100/100133/tde-11112016-104321/en.php>> Acesso em 26 abr. 2021. 19h49.
- AZEVEDO, Juliana Laboissière. **A Economia Circular Aplicada no Brasil: uma análise a partir dos instrumentos legais existentes para a logística reversa**. In: **XI Congresso Nacional de Excelência em Gestão**. 2015. Disponível em: <<https://www.inovarse.org/node/3815>> Acesso em: 29 de Abr. de 2021. 13h18
- BERARDI, Patricia; DIAS, Joana Maia. **O mercado da economia circular**. GV EXECUTIVO, v. 17, n. 5, p. 34-37, 2018. Disponível em: <<https://rae.fgv.br/gv-executivo/vol17-num5-2018/mercado-economia-circular>> Acesso em: 29 de Abr. 2021
- CENTER FABRIL. **Dicionário Têxtil: Têxteis**. 2018. Disponível em: <<https://www.centerfabril.com.br/dicionario-textil/#T>>. Acesso em: 21 abr. 2021.
- EURECICLO. **Certificado de Reciclagem: cumprimento da logística reversa e desenvolvimento da cadeia de reciclagem**. 2020. Disponível em: <<https://blog.eureciclo.com.br/certificado-de-reciclagem-cumprimento-da-logistica-reversa-e-desenvolvimento-da-cadeia-de-reciclagem/>>. Acesso em: 13 mai. 2021.
- GUARNIERI, Patrícia; KOVALESKI, Prof. Dr. João Luiz; STADLER, Prof. Dr. Carlos Cezar; OLIVEIRA, Prof. Dr. Ivanir Luiz de. **A caracterização da logística reversa no ambiente empresarial em suas áreas de atuação: pós-venda e pós-consumo agregando valor econômico e legal**. 2005. Disponível em: <https://limpezapublica.com.br/textos/e-book_2006_artigo_57.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2021.
- INSTITUTO ETHOS. **Responsabilidade social empresarial e sustentabilidade para a gestão empresarial**. 2013. Disponível em: <<https://www.ethos.org.br/cedoc/responsabilidade-social-empresarial-e-sustentabilidade-para-a-gestao-empresarial/>> Acesso em: 29 abr. 2021.
- LEITE, Paulo Roberto. **Logística Reversa: Nova área da logística empresarial**. Revista Tecnológica 2002. Disponível em: <[http://www.limpezapublica.com.br/textos/logistica_reversa_-_nova_area_da_logistica_empresarial_\(1\).pdf](http://www.limpezapublica.com.br/textos/logistica_reversa_-_nova_area_da_logistica_empresarial_(1).pdf)>. Acesso em: 25 abr. 2021.
- MACHADO, Virginia Tomaz; CANDEIA, Roberlucia Araújo; FARIAS, Camilo Allyson Simões de. **Gestão ambiental adotada em indústria têxtil do sertão da Paraíba**. 2019. Disponível em: <http://www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/download/6448/4747>. Acesso em: 14 mai. 2021.
- PENSAMENTO VERDE. **Como fazer o descarte correto de roupas?** Disponível em: <<https://www.pensamentoverde.com.br/reciclagem/como-fazer-o-descarte-correto-de-roupas/>>. Acesso em: 21 abr. 2021.
- PEREIRA, Gislaíne de Souza. **Materiais e Processos Têxteis**. 2009. Disponível em: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:e_4Oqjlqr7gJ:https://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/images/temp/0/07/20090218180450!MPTEX6.pdf+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=brZ>. Acesso em: 14 mai. 2021.

REIS, Filipe Augusto Ronconi dos; RAVASSI, Rafael Nobre; MELLO, Prof. Dra. Fabiana Ortiz Tanoue de. **Logística Reversa de Pós Venda: estudo de caso em uma indústria de calçados**. 2013. Disponível em: <<http://fateclins.edu.br/v4.0/trabalhoGraduacao/dnqWKg614jr9WWkC7gc0R2bUAVP1QOD JO.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2021.

SINIR - Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos. **Acordo Setorial para Implantação do Sistema de Logística Reversa de Embalagens em Geral**. 12 mar. 2019. Disponível em: <<https://sinir.gov.br/index.php/component/content/article/2-uncategorised/122-acordo-setorial-de-embalagens-em-geral>>. Acesso em: 27 abr. 2021.

SINIR - Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos. **Logística Reversa**. 2021. Disponível em: <<https://sinir.gov.br/logistica-reversa>>. Acesso em: 13 mai. 2021.

VG RESÍDUOS. **Logística Reversa: gerando valor para o seu resíduo**. 2020. Disponível em: <<https://www.vgresiduos.com.br/blog/logistica-reversa-gerando-valor-para-o-seu-residuo/>>. Acesso em: 22 abr. 2021.

CAPÍTULO 15

DETERMINAÇÃO DO TEOR DE POLIFENÓIS TOTAIS EM VINHOS E SUCOS DE UVA INTEGRAL POR ESPECTROFLUORIMETRIA E COMPARAÇÃO COM O MÉTODO DE FOLIN-CIOCALTEU

Stefanie Baldasso e Souza

Universidade Federal Fluminense – RJ – Brasil

E-mail: stefaniebaldasso@id.uff.br

Raquel Andrade Donagemma

Universidade Federal Fluminense – RJ – Brasil

E-mail: raquelandrade@id.uff.br

Flávia Ferreira de Carvalho Marques

Universidade Federal Fluminense – RJ – Brasil

E-mail: flaviamarques@id.uff.br

Resumo: A busca por alimentos saudáveis tem sido maior nos últimos anos em decorrência da influência direta de uma melhor qualidade de vida. Vinhos e sucos de uva integral apresentam em sua composição compostos fenólicos que possuem propriedades antioxidantes sendo capazes de inativar radicais livres produzidos no organismo, prevenindo o chamado estresse oxidativo, que está associado à diversas patologias da saúde. Além disso, os compostos fenólicos são responsáveis pela cor, aroma e sabor dessas bebidas. Neste contexto existe então, a necessidade de estudos sobre novos métodos simples e diretos que auxiliem na determinação de tais compostos. Este trabalho teve como objetivo comparar o método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu com um método espectrofluorimétrico desenvolvido por nosso grupo de pesquisa. A faixa linear do método espectrofluorimétrico se estende de 0,01 a 0,2 mg L⁻¹ enquanto que a do método que utiliza o reagente de Folin-Ciocalteu foi de 0,2 a 2,4 mg L⁻¹. Parâmetros analíticos de mérito foram calculados sendo eles: limites de detecção (LD) e de quantificação (LQ) de 0,0029 e 0,0097 mg L⁻¹, respectivamente, para o método espectrofluorimétrico, e de 0,048 e 0,16 mg L⁻¹, respectivamente, para o método espectrofotométrico. Ambos os métodos foram aplicados na quantificação de polifenóis totais em amostras de vinhos e sucos de uva de várias marcas. A determinação quantitativa do método espectrofluorimétrico foi realizada de forma direta, sem tratamento das amostras, sendo apenas diluídas em água e solução tampão Britton-Robinson pH 8,5 (1:1 v/v). Já no método espectrofotométrico, foi necessária a reação com o reagente de Folin e um tempo de espera de cerca de 1h. Para este método foram encontrados valores de 1389,5 a 3669,3 mg L⁻¹ para vinhos e 1474,2 a 3897,1 mg L⁻¹ para sucos de uva integrais. Já para o método espectrofluorimétrico, 87,9 a 112,2 mg L⁻¹ para vinhos e 84,4 a 124,3 mg L⁻¹ para sucos. Todas as medidas devem ser consideradas em equivalentes de ácido gálico. A discrepância entre os valores se dá pelas inúmeras interferências que o método de Folin-Ciocalteu apresenta e estas são discutidas neste trabalho. O método espectrofluorimétrico mostrou-se bastante eficiente, concordando com os dados da literatura..

Palavras-chave: Polifenóis totais; Espectrofluorimetria; Método Espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu; Vinho; Sucos de uva.

1. INTRODUÇÃO

Cada vez mais a população vem aderindo aos hábitos de vida mais saudáveis visando a prevenção de patologias e maior qualidade de vida. Assim, a busca por alimentos saudáveis tem aumentado durante os últimos anos.

Neste contexto, vários efeitos benéficos à saúde têm sido atribuídos aos compostos fenólicos presentes nas frutas, vegetais, chás e vinhos. Estudos recentes mostram múltiplos efeitos biológicos relacionados aos compostos fenólicos na dieta, tais como: atividade antioxidante, anti-inflamatória, antimicrobiana e anticarcinogênica. Entre as frutas, a uva é uma das maiores fontes de compostos fenólicos considerados antioxidantes naturais, porém a grande diversidade resulta em uvas e vinhos com diferentes características, tanto de sabor quanto de coloração, que está diretamente associado com o conteúdo e o perfil dos compostos fenólicos (ABE *et al.*, 2007). Alguns fatores (pré, durante e pós fermentação alcoólica) têm sido avaliados para controlar o teor de fenólicos em vinhos. O desenvolvimento de um determinado tipo de vinho começa com a seleção de uma variedade de uva e estudo da influência das condições climáticas na composição da uva, sendo este o parâmetro mais importante, seguido pelo tipo de solo e forma de cultivo. A quantidade de água disponível na videira também é um parâmetro decisivo para o teor de compostos fenólicos (GUTIÉRREZ-ESCOBAR *et al.*, 2021).

O efeito do consumo de vinho sobre doenças cardiovasculares foi estudado quando a expressão “Paradoxo Francês” foi primeiramente empregada. Esse termo deriva da incompatibilidade existente entre a dieta altamente rica em gorduras saturadas e alto sedentarismo da população francesa do século XIX, e o baixo índice de doenças cardíacas naquela população. O hábito dos franceses de ingerir vinho tinto, diariamente, durante as refeições estaria diretamente relacionado com a proteção contra problemas cardiovasculares (DIAS & MENEGON, 2012). Registros históricos mostram que o uso medicinal do vinho pelo homem tem sido uma prática de importantes civilizações do mundo ocidental, como os egípcios, e do mundo oriental, como os hindus, há mais de 2.000 anos (IDE *et al.*, 2009).

Nesse sentido, um estudo acerca de métodos para quantificar tais compostos em alimentos cotidianos poderá ajudar a identificar os mais propensos a exercer funções protetoras ao nosso organismo. Assim, a proposta deste trabalho foi implementar um método existente para determinação de compostos fenólicos totais

através da espectrofluorimetria em amostras de vinho e suco de uva e compará-lo ao método de Folin-Ciocalteu, o qual é comumente utilizado para determinação dos polifenóis totais em termos de equivalente de ácido gálico (SINGLETON & ROSSI, 1965).

2. INSTRUMENTAÇÃO E MÉTODOS

2.1 MEDIÇÕES ESPECTROFLUORIMÉTRICAS

Para o estudo da fluorescência do ácido gálico o espectrofluorímetro da marca VARIAN, modelo Cary Eclipse, foi utilizado tendo como fonte de excitação uma lâmpada pulsátil do tipo descarga de xenônio, com 80 Hz e 12 watts. A abertura de fenda (banda espectral de passagem) utilizada foi de 10 nm com velocidade de varredura de 1200 nm s⁻¹. O detector, um fotomultiplicador PMT R928, tem resposta que detecta radiação até 900 nm. O sistema operacional utilizado foi SWEclipse® Bio Pack V 1.1 (XP WIN2000) *software*. Cubetas de quartzo com caminho óptico de 1 cm foram usadas para as medições. As medidas foram realizadas nos comprimentos de onda máximos de excitação ($\lambda_{exc} = 280$ nm) e emissão ($\lambda_{em} = 360$ nm) do ácido gálico. Os valores dos sinais dos brancos também foram medidos para que fossem feitos os cálculos dos valores líquidos referentes ao sinal fluorescente do analito.

2.2 MEDIÇÕES ESPECTROFOTOMÉTRICAS

Para a determinação de polifenóis totais em termos de ácido gálico pelo método de Folin-Ciocalteu foi utilizado o espectrofotômetro com detecção no UV-Visível, da marca Thermo Scientific Evolution. A fonte de xenônio utilizada com detector de fotodiodos de silício proporciona uma grade holográfica de 1200 linhas/mm. A faixa de comprimento de onda varia de 190 a 900 nm. Cubetas de vidro com caminho óptico de 1 cm foram usadas para as medições. As medidas foram realizadas no comprimento de onda máximo de 750 nm. O valor do sinal do branco (todos os reagentes e soluções, exceto o padrão de ácido gálico/alíquota de amostra) também foi medido para que fossem feitos os cálculos dos valores líquidos referentes à absorvância do analito.

2.3 AQUISIÇÃO DAS AMOSTRAS

Amostras de vinho tinto e suco de uva de diferentes fabricantes foram adquiridas em estabelecimentos comerciais localizados nas cidades do Rio de Janeiro e Niterói.

2.4 QUANTIFICAÇÃO DE POLIFENÓIS TOTAIS PELO MÉTODO ESPECTROFLUORIMÉTRICO

Para a determinação de polifenóis totais (PFT) por espectrofluorimetria, uma solução aquosa estoque do padrão de ácido gálico na concentração de 10 mg L⁻¹ foi preparada diariamente. A partir desta solução, foram feitas diversas diluições em triplicatas autênticas (0,01; 0,02; 0,04; 0,06; 0,08; 0,1; 0,2 mg L⁻¹) em água ultrapura:solução tampão Britton-Robinson pH 8,5 1:1 v/v para a construção das curvas analíticas. As medidas foram realizadas nos comprimentos de onda máximos de excitação ($\lambda_{exc} = 280$ nm) e emissão ($\lambda_{em} = 360$ nm) do ácido gálico (OLIVEIRA, 2016).

Para as medições das amostras de vinhos e sucos de uva, estas foram apenas diluídas na razão 1:2000 em água ultrapura:solução tampão Britton-Robinson pH 8,5 1:1 v/v e transferidas diretamente para a cubeta de quartzo e medições nas mesmas condições das soluções padrão do ácido gálico. As concentrações de PFT obtidas nas amostras foram expressas em mg de polifenóis totais como equivalente de ácido gálico por litro de amostra (mgEAG L⁻¹).

2.5 QUANTIFICAÇÃO DE POLIFENÓIS TOTAIS PELO MÉTODO DE FOLIN-CIOCALTEU

Os polifenóis totais (PFT) nas amostras de vinhos e sucos de uva foram determinados pelo método de Folin-Ciocalteu desenvolvido por Singleton e Rossi (1965) com adaptações de Coentrão (2011) que utiliza um volume maior da solução de carbonato de sódio 7,5%, onde o máximo da absorção ocorreu em 750 nm de acordo com a literatura e adaptações de pH da solução para fins comparativos com o método fluorimétrico.

O método consiste em adicionar 0,50 mL do RFC à solução do padrão ou amostra em tampão Britton-Robinson pH 8,5:água ultrapura 1:1 v/v em um balão de

10 mL e após 3 min adicionar 5,0 mL de solução de carbonato de sódio (7,5% m/v). Cada solução preparada foi avolumada com água ultrapura e após 1h de reação ao abrigo de luz, a medida da absorvância em 750 nm foi realizada no espectrofotômetro.

Uma curva analítica utilizando ácido gálico como padrão foi construída para a aplicação desse método. Uma solução aquosa estoque de ácido gálico (10 mg L⁻¹) foi preparada diariamente e utilizada para construir uma curva analítica com concentrações diferentes: 0,2; 0,4; 0,8; 1,6 e 2,4 mg L⁻¹.

Para as medições das amostras de vinhos e sucos de uva, estas foram preparadas segundo o esquema experimental da figura 5 na razão 1:1000 e algumas mais concentradas na razão 1:2000, devidamente indicadas, em água ultrapura:solução tampão Britton-Robinson pH 8,5 1:1 v/v e transferidas diretamente para a cubeta no comprimento de onda de 750 nm. As concentrações de PFT obtidas nas amostras foram expressas em mg de polifenóis totais como equivalente de ácido gálico por litro de amostra (mgEAG L⁻¹).

Todas as concentrações foram preparadas em duplicatas autênticas e a concentração de PFT obtidas nas amostras foram expressas em mg de polifenóis totais como equivalente de ácido gálico por litro de amostra (mgEAG L⁻¹).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram obtidos espectros de excitação e emissão fluorescente a fim de verificar as condições escolhidas para trabalho segundo OLIVEIRA (2016). Parâmetros analíticos de mérito como limite de detecção, limite de quantificação, precisão intermediária, entre outros, foram calculados. Espectros de absorção em varredura de 250 a 900 nm foram obtidos para o padrão ácido gálico a fim de se verificar o melhor comprimento de onda para trabalho. Os mesmos parâmetros analíticos de mérito foram calculados. Ambos os métodos foram aplicados as amostras de vinho e suco de uva integral e seus resultados foram confrontados e discutidos com a literatura.

3.1 MÉTODO ESPECTROFLUORIMÉTRICO

O método espectrofluorimétrico foi aplicado conforme o trabalho desenvolvido por OLIVEIRA, 2016. As condições previamente otimizadas para as medições por espectrofluorimetria estão apresentadas na Tabela 1.

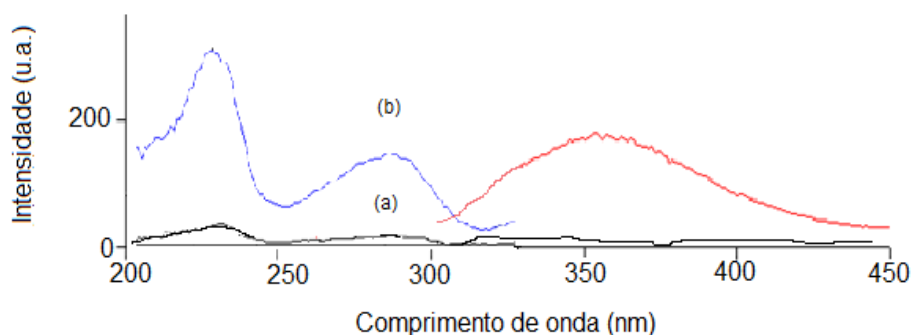
Tabela 1: Resumo das condições experimentais otimizadas previamente para determinação espectrofluorimétrica de PFT em termos de mgEAG L⁻¹

Tipo de varredura	Normal
$\lambda_{exc}/\lambda_{em}$	280/360 nm
Solvente	Água ultrapura: tampão Britton-Robinson pH 8,5 (1:1 % v/v)

Fonte: (OLIVEIRA, 2016)

Espectro de excitação fluorimétrica de uma solução de ácido gálico na concentração de 0,06 mg L⁻¹ pode ser visto na Figura 1.

Figura 1: Espectro de excitação e emissão fluorescente de (a) água ultrapura: tampão Britton-Robinson (1:1 v/v) (branco) e (b) solução aquosa de ácido gálico 0,06 mg L⁻¹ em água ultrapura: tampão Britton-Robinson (1:1 v/v) pH 8,5. Medições feitas em fenda de 10 nm e $\lambda_{exc}/\lambda_{em} = 280/360$ nm.

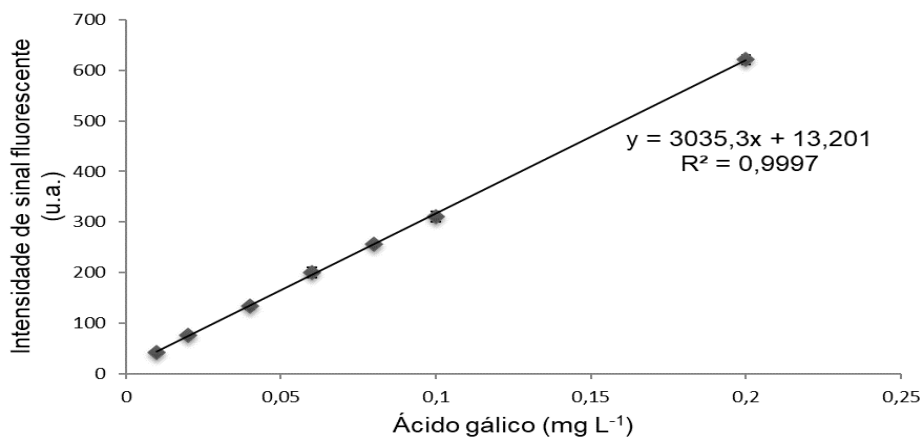


Fonte: Os autores

Alguns parâmetros analíticos de mérito foram recalculados de acordo com o documento DOQ-CGCRE-008 (INMETRO, 2011) a fim de confirmar os valores obtidos. São eles: faixa linear, limites de detecção e quantificação, repetibilidade e precisão intermediária.

Sabendo-se que a linearidade de um método se refere à sua capacidade em gerar resultados linearmente proporcionais à concentração do analito, enquadrados em faixa analítica especificada (ANVISA, 2003) três curvas analíticas foram construídas para fins de confirmação da faixa linear encontrada previamente. A Figura 2 mostra uma curva analítica representativa obtida.

Figura 2: Curva analítica representativa para as soluções de aquosas de ácido gálico, obtida através de varredura ($\lambda_{em} = 360 \text{ nm}$) em fenda de 10 nm. Condições conforme Tabela 1.



Fonte: Os autores

Conforme pode ser visto, o método espectrofluorimétrico para determinação de PFT em termos de mgEAG L⁻¹, apresentou faixa linear que se estende de 0,01 a 0,2 mg L⁻¹, com $R^2 = 0,9997$. Vale ressaltar que no trabalho anterior a faixa se estendeu até 0,3 mg L⁻¹. Esta diferença pode ser atribuída tanto para a mudança de lâmpada do instrumento na manutenção do mesmo, quanto a erros do analista e condições do padrão ácido gálico.

No caso do limite de detecção (LD), que consiste na menor concentração do analito que pode ser detectada, mas não necessariamente quantificada, sob condições experimentais estabelecidas pelo método, a Equação 1 foi adotada:

$$LD = \frac{3s_{y/x}}{b} \quad \text{Equação 1}$$

Onde: $S_{y/x}$ é o desvio padrão de sete medidas de solução branco e b o coeficiente angular médio de três curvas analíticas.

Já o limite de quantificação (LQ), que é definido como a menor concentração do analito que pode ser quantificada na amostra, com exatidão e precisão aceitáveis, nas condições experimentais adotadas, a Equação 2 foi considerada para os cálculos:

$$LQ = \frac{10s_{y/x}}{b} \quad \text{Equação 2}$$

Onde: $S_{y/x}$ é o desvio padrão de sete medidas de solução branco e b o coeficiente angular médio de três curvas analíticas.

Os resultados obtidos para os limites de detecção e quantificação para o ácido gálico foram 0,0029 mg L⁻¹ e 0,0097 mg L⁻¹, respectivamente.

Com relação à precisão, esta avalia a proximidade entre as medidas executadas na mesma amostra ou padrão. Usualmente, é expressa como o desvio-padrão, variância ou coeficiente de variação (CV) de diversas medidas. Este parâmetro pode ser estimado em diversas condições (repetibilidade, precisão intermediária ou reprodutibilidade) (ANVISA, 2003).

A repetibilidade representa a precisão nas mesmas condições de operação (equipamento, analista, reagentes, dia e mesmas condições ambientais) em intervalo de tempo curto. Enquanto que a precisão intermediária expressa as variações no mesmo laboratório, podendo ser em dias, analistas e/ou equipamentos diferentes, dentre outros (INMETRO, 2011).

Neste trabalho, a repetibilidade do método foi avaliada através da determinação consecutiva e em triplicatas autênticas (n=3), em um mesmo dia, de uma solução de ácido gálico em três faixas de concentração: 0,01; 0,06 e 0,2 mg L⁻¹. A repetibilidade foi expressa através do desvio padrão relativo (DPR). Como os valores obtidos foram todos menores que 4,48 % (Tabela 2), podemos afirmar que o método é preciso (em termos de repetibilidade), uma vez que o DPR máximo permitido pela legislação é de 5 % (ANVISA, 2003).

Tabela 2: Valores de repetibilidade (DPR%, n = 3) para a emissão fluorescente (360 nm) do ácido gálico em três faixas de concentração

Concentração (mg L ⁻¹)	Intensidade de emissão fluorescente (u.a.)			DPR (%)
0,01	36,41	35,63	36,19	1,76
0,06	192,37	202,9	209,06	4,48
0,20	550,12	538,84	554,17	1,49

Fonte: Os autores

Já a precisão intermediária foi estudada mediante análise de triplicatas autênticas de soluções de ácido gálico em três faixas de concentração (0,01; 0,06 e 0,2 mg L⁻¹) em dois dias diferentes (n=2). Neste caso, os valores de DPR para as intensidades de emissão fluorescente foram todos inferiores a 4,19 % (Tabela 3), sendo o resultado também considerado satisfatório, pois são menores que o valor máximo permitido (5%) (ANVISA 2003). Além disso, o teste *t-Student* (nível de confiança de 95%) foi usado para comparar as médias do sinal líquido fluorescente

obtidas em dias diferentes. Os valores de $t_{\text{calculado}}$ (0,479; 0,542 e 2,350 respectivamente) obtidos para cada nível de concentração foram menores que o valor de $t_{\text{crítico}}$ (2,780). Sendo assim, pode-se concluir que não existe diferença entre as médias dos sinais fluorescentes obtidos em dias diferentes, e, portanto, o método apresenta boa precisão intermediária.

Tabela 3: Valores de precisão intermediária (DPR%, $n = 6$ em 2 dias) para a emissão fluorescente do ácido gálico em três faixas de concentração

Concentração (mg L ⁻¹)	Dia	Intensidade de emissão fluorescente (u.a.)			DPR (%)
0,01	1	36,41	35,83	36,19	0,80
	2	36,13	36,65	36,03	
0,06	1	192,37	202,91	209,06	3,61
	2	192,20	192,62	191,37	
0,20	1	550,12	538,84	554,17	1,52
	2	539,44	535,35	534,02	

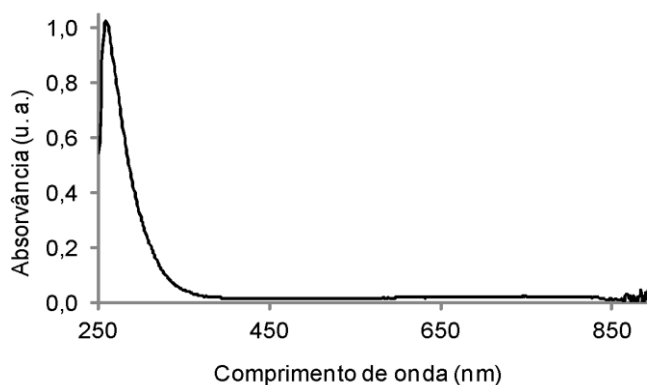
Fonte: Os autores

Vale ressaltar que os ensaios de recuperação já foram previamente realizados por OLIVEIRA (2016). Recuperação média do ácido gálico nas amostras de vinho tinto e branco em triplicatas fortificadas com concentração conhecida de ácido gálico (0,06 mg L⁻¹) variou de 98% a 101%.

3.2 MÉTODO ESPECTROFOTOMÉTRICO (FOLIN-CIOCALTEU)

Conforme já mencionado na Seção 2, o método de Folin-Ciocalteu é utilizado como método padrão para quantificar compostos fenólicos totais em termos de ácido gálico em vinhos pela *Internacional Organization of Vine and Wine* e tem sido utilizado também em sucos de uva integral (PADILHA *et. al.*, 2017). Assim, para a utilização deste método, foi gerado um espectro de absorção em varredura de 250 a 900 nm de uma solução padrão de ácido gálico 1,6 mg L⁻¹, preparada conforme esquema apresentado na Figura 5, a fim de obter os comprimentos de onda máximos. Conforme mostra o espectro de absorção na Figura 3, os comprimentos de onda máximos para medidas de PFT são 280 e 750 nm, sendo este último com absorvância bem menos intensa.

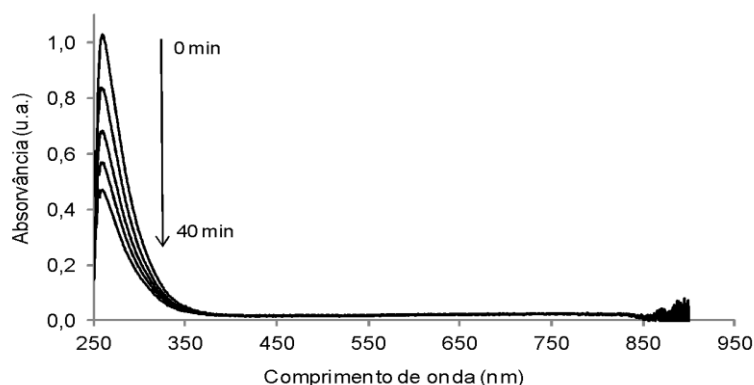
Figura 3: Espectro de absorção de solução padrão de ácido gálico 1,6 mg L⁻¹. Condições conforme método de Folin-Ciocalteu



Fonte: Os autores

Como o método oficial (SINGLETON & ROSSI, 1965) não menciona o comprimento de onda de 280 nm para quantificação de PFT, um estudo de estabilidade do sinal se fez necessário. Assim, durante 40 min foi medida a absorvância de uma solução padrão de ácido gálico 0,2 mg L⁻¹ pelo método de Folin-Ciocalteu. Na Figura 4 são mostrados os resultados após a medida da primeira absorção.

Figura 4: Estudo de cinética de uma solução padrão de ácido gálico 0,2 mg L⁻¹ nos tempos: 0 min; 10 min; 20 min; 30 min; 40 min. Condições conforme método de Folin-Ciocalteu.



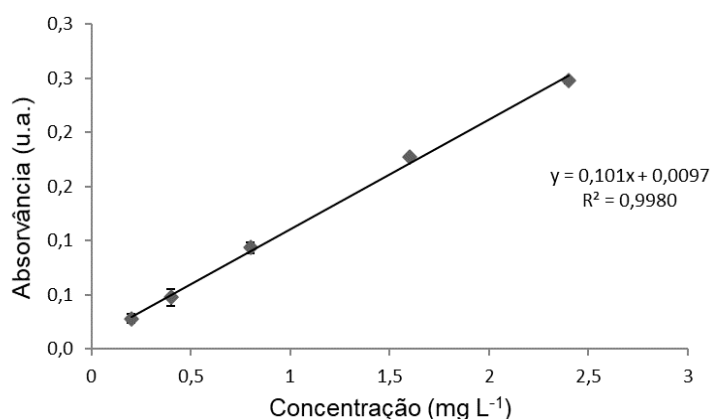
Fonte: Os autores

Conforme observado na Figura 4, em 280 nm o sinal de absorvância da solução padrão de ácido gálico decai significativamente no período de tempo estudado, enquanto que em 750 nm não houve alteração significativa. De acordo com Angelo & Jorge (2007), a absorção neste comprimento de onda pode ser afetada pela natureza do solvente utilizado e o pH em que a solução se encontra. Como há também a

possibilidade de interferência dos raios UV sobre as proteínas, ácidos nucleicos e aminoácidos presentes nas amostras de vinho e sucos de uva integral (Angelo & Jorge, 2007), a quantificação nesse comprimento de onda (280 nm) foi descartada.

Portanto, curvas analíticas no comprimento de onda de 750 nm foram construídas para fins de se obter uma faixa linear para quantificação de PFT. A Figura 5 mostra uma curva analítica representativa obtida.

Figura 5: Curva analítica representativa para soluções de ácido gálico, segundo o método de Folin-Ciocalteu, com medições em 750 nm



Fonte: Os autores

Da mesma forma que o método espectrofluorimétrico, os demais parâmetros analíticos de mérito também foram calculados a fim de obter confiança nos valores obtidos. As Tabelas 4 e 5 mostram os valores obtidos para os estudos de precisão (repetibilidade e precisão intermediária, respectivamente)

Tabela 4: Valores de repetibilidade (DPR%, n = 3) para a absorção do ácido gálico (750 nm) em três faixas de concentração

Concentração (mg L ⁻¹)	Absorvância (u.a.)			DPR (%)
	0,031	0,029	0,032	
0,20	0,031	0,029	0,032	4,98%
0,80	0,097	0,095	0,099	2,06%
2,4	0,250	0,245	0,252	1,45%

Fonte: Os autores

Tabela 5: Valores de precisão intermediária (DPR%, n = 6 em 2 dias) para a absorção do ácido gálico (750 nm) em três faixas de concentração

Concentração (mg L ⁻¹)	Dia	Absorvância (u.a.)			DPR (%)
0,20	1	0,031	0,029	0,032	10,63
	2	0,025	0,027	0,025	
0,80	1	0,097	0,095	0,099	3,19
	2	0,090	0,094	0,095	
2,4	1	0,250	0,245	0,252	1,12
	2	0,246	0,251	0,249	

Fonte: Os autores

A Tabela 6 mostra, comparativamente, os valores dos parâmetros analíticos de mérito obtidos para ambos os métodos.

Tabela 6: Parâmetros analíticos de mérito para os métodos espectrofluorimétrico e de Folin-Ciocalteu

Parâmetros analíticos de mérito	Fluorimetria	Folin-Ciocalteu
Faixa linear (mg L ⁻¹)	0,01 - 0,2	0,2 - 2,4
Curva Analítica ^a	$y = 3035,3x + 13,201^a$	$y = 0,1010x + 0,0097^b$
Limite de detecção (LD) (mg L ⁻¹)	0,0029	0,048
Limite de quantificação (LQ) (mg L ⁻¹)	0,0097	0,16
Repetibilidade (DPR%, n = 3)	< 4,49 %	< 4,99%
Precisão intermediária (DPR%, n = 6; 2 dias)	< 3,62%	< 10,64%

^aY = emissão fluorescente (u.a.); X = Concentração em mg L⁻¹

^bY = absorvância (u.a.); X = Concentração em mg L⁻¹

Fonte: Os autores

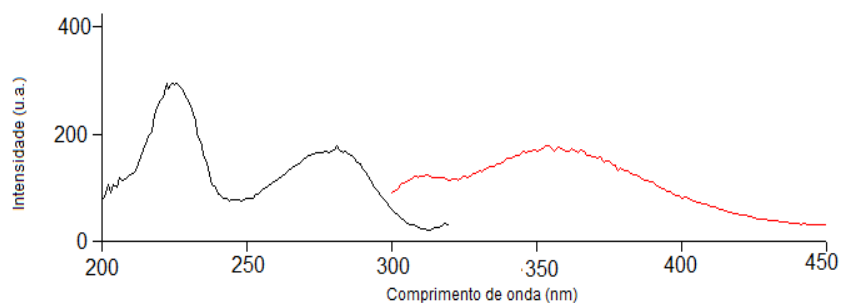
Conforme pode ser visto na Tabela 6, o método de Folin apresenta sensibilidade cerca de 16,5 vezes menor que o método espectrofluorimétrico, além de menor precisão das medidas. Vale ressaltar também que as medições feitas pelo método do Folin são extremamente trabalhosas, pois dependem de reação colorimétrica e tem um tempo de espera muito grande (cerca de 1h), enquanto que pelo método espectrofluorimétrico as medições são imediatas e não requerem nenhum preparo especial (somente diluição). Portanto, o método espectrofluorimétrico é muito mais favorável para uma rotina de controle de qualidade.

3.3 DETERMINAÇÃO DE PFT EM AMOSTRAS DE VINHO E SUCO DE UVA INTEGRAL

As amostras de vinho e sucos de uva integral foram diluídas na razão 1:2000 em água ultrapura:solução tampão Britton-Robinson pH 8,5 1:1 v/v para o método espectrofluorimétrico. Já para o método espectrofotométrico, as amostras foram preparadas na razão 1:1000 ou 1:2000 nas condições experimentais descritas no método de Folin-Ciocalteu.

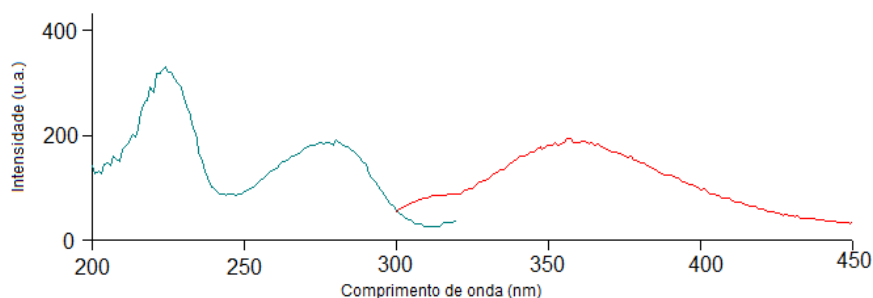
As Figuras 6 e 7 mostram, respectivamente, os espectros de excitação e emissão fluorescente para amostras de vinho e suco de uva integral.

Figura 6: Espectro de excitação e emissão para uma amostra de vinho realizada em banda espectral de passagem de 10 nm e $\lambda_{exc}/\lambda_{em} = 280/360$ nm



Fonte: Os autores

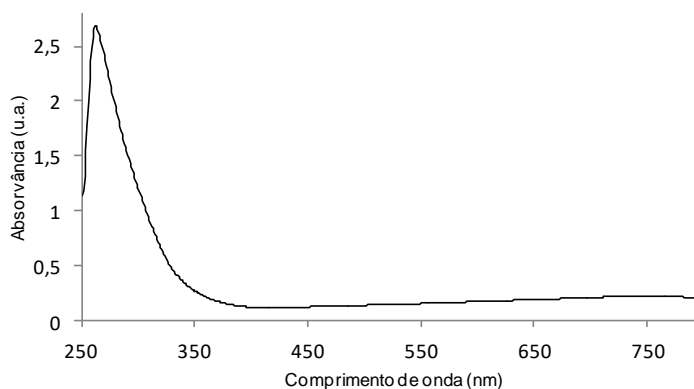
Figura 7: Espectro de excitação e emissão para uma amostra de suco de uva integral realizada em banda espectral de passagem de 10 nm e $\lambda_{exc}/\lambda_{em} = 280/360$ nm



Fonte: Os autores

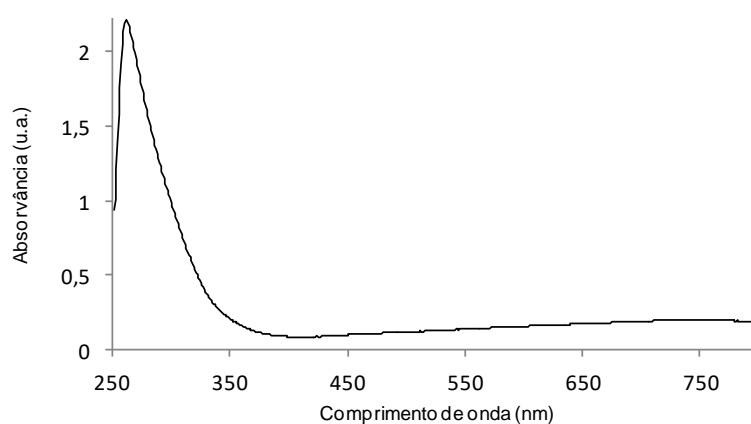
As Figuras 8 e 9 mostram, respectivamente, os espectros de absorção de amostras de vinho e suco de uva integral.

Figura 8: Espectro de absorção de uma amostra de vinho na diluição de 1:1000 realizado segundo método de Folin-Ciocalteu



Fonte: Os autores

Figura 9: Espectro de absorção de uma amostra de suco de uva integral na diluição de 1:1000, realizado segundo método de Folin-Ciocalteu



Fonte: Os autores

Conforme pode ser visto nas Figuras 9 e 10, os espectros das amostras mostram total semelhança com o padrão ácido gálico (Figura 3).

As amostras de vinho e sucos de uva integral para o método espectrofluorimétrico foram diluídas na razão 1:2000 água ultrapura: tampão Britton-Robinson (1:1 v/v) pH 8,5; já para o método espectrofotométrico, seguindo o método de Folin-Ciocalteu., foram diluídas na razão 1:1000, exceto por 5 amostras mais concentradas que as demais (devidamente indicadas) que foram diluídas na razão 1:2000. A Tabela 7 mostra os resultados obtidos com seus respectivos desvios padrão por ambos os métodos de quantificação de PFT.

Tabela 7: Determinação de polifenóis totais em vinhos e sucos de uva integral por equivalentes de ácido gálico pelo método espectrofluorimétrico e espectrofotométrico (Folin-Ciocalteu)

	Concentração de PFT \pm desvio padrão (n = 3) (mgEAG L ⁻¹)	
	Espectrofluorimetria	Folin-Ciocalteu
Vinhos		
A	108,8 \pm 0,3	2122,0 \pm 0,1
B	87,9 \pm 1,8	1731,4 \pm 7,1
C	100,4 \pm 4,2	1764,8 \pm 14,1
D	92,2 \pm 4,8	2400,7 \pm 55,2*
E	100,0 \pm 2,0	1720,8 \pm 21,2
F	112,2 \pm 3,4	1389,5 \pm 27,6
G	95,4 \pm 2,0	3669,3 \pm 26,9*
H	98,9 \pm 1,8	2758,7 \pm 83,4*
Sucos de uva integral		
A	124,3 \pm 1,5	1829,8 \pm 7,1
B	115,5 \pm 1,0	3115,0 \pm 55,2*
C	104,5 \pm 1,0	1977,8 \pm 7,1
D	102,3 \pm 7,2	1474,2 \pm 19,8
E	84,4 \pm 0,6	3897,1 \pm 69,3*

*Amostras diluídas na razão 1:2000 v/v. Todas as demais estão na proporção de diluição de 1:1000 v/v por espectrofotometria.

Fonte: Os autores

Conforme pode ser visto na Tabela 7, há uma grande diferença entre os valores obtidos por espectrofluorimetria e espectrofotometria. Segundo Andjelkovic (2008), o método espectrofotométrico, que utiliza o RFC, deve ser visto como uma medida da capacidade antioxidante total em vez de conteúdo fenólico, visto que os compostos fenólicos são os antioxidantes mais abundantes na maioria das plantas, frutas e vegetais. Estudos mostram que o ensaio com RFC não é específico, pois reage com inúmeros antioxidantes além dos fenóis. Possíveis interferentes mencionados incluem proteínas, carboidratos, aminoácidos, nucleotídeos, tióis, vitaminas, aldeídos, cetonas, entre outros (ANGELO & JORGE, 2007). Outra desvantagem desse método é a interferência pela redução de substâncias como o ácido ascórbico, que de acordo com a ANVISA em RDC n° 123/2016, pode ser adicionada em até 0,03 mg/100 mL de vinho como um aditivo alimentar antioxidante. Íons metálicos também são possíveis

interferentes, visto que podem se complexar com os fenóis e alterar sua propriedade redox (EVERETTE, 2010).

Vale ressaltar ainda que o método de Folin-Ciocalteu apresenta pouca praticidade em ensaios de rotina pelo extenso tempo de reação, limitações experimentais como abrigo de luz e necessidade de uma técnica complementar para retirar interferentes e discernir cada substância desejada.

Porém, os resultados obtidos nesse trabalho estão em concordância com a concentração de fenóis totais de estudos recentes no Brasil (PADILHA *et.al.*, 2017) e no mundo (LEEUEW *et.al.*, 2014). Neste trabalho a faixa de concentração obtida para vinhos foi de 1389,5 a 3669,3 mg L⁻¹ e para sucos de uva integral, de 1474,2 a 3897,1 mg L⁻¹. No Brasil, os estudos realizados mostraram que as concentrações variaram de 2003 a 4036 mg L⁻¹ para vinhos brasileiros e 2135 a 2647 mg L⁻¹ para sucos de uva integral (PADILHA *et.al.*, 2017). Já em pesquisa no exterior, os valores encontrados para os vinhos internacionais variam de 282 a 3476 mg L⁻¹ (LEEUEW *et.al.*, 2014).

Já para o método espectrofluorimétrico, os valores obtidos estão em concordância com os encontrados na literatura. De acordo com a ET LABORATORIES, a concentração de fenólicos em equivalentes de ácido gálico encontrado em vinhos varia de 10 a mais de 100 mg L⁻¹ e neste trabalho os valores variaram de 87,9 a 112,2 mg L⁻¹. Já para os sucos de uva integral, a literatura não descreve um teor de polifenóis totais por equivalentes de ácido gálico além do método de Folin-Ciocalteu, porém espera-se que os valores sejam próximos dos encontrados para o vinho. Assim sendo, os valores variaram de 84,4 a 124,3 mg L⁻¹. Vale ressaltar que o método espectrofluorimétrico aplicado apresenta boa praticidade laboratorial e rápida resposta, visto que não há preparo de amostras que inclua reação ou extração, além de diluição simples com água ultrapura e tampão.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de não transmitir muitas vezes a realidade por conta de vários interferentes e limitações experimentais, há muitos anos o RFC vem sendo utilizado para quantificar o teor de PFT em vinhos e sucos de uva integral. Pela sua falta de especificidade, seus resultados devem ser vistos como uma medida da capacidade antioxidante semelhante aos ensaios com DPPH, por exemplo (EVERETTE, 2010).

Há, então, a necessidade de se investir em métodos diretos que diminuam ou eliminem esses interferentes e que consigam transmitir resultados mais seguros.

Este trabalho permitiu a comparação do método espectrofotométrico que utiliza o RFC, com o método espectrofluorimétrico desenvolvido por OLIVEIRA (2016) que não utiliza preparo de amostras ou reações, obtendo resultados comparáveis com a literatura para ambos os métodos. Foi possível a determinação de PFT em equivalentes de ácido gálico em vinhos e sucos de uva. De acordo com a literatura a concentração de PFT em termos de equivalentes de ácido gálico em vinhos varia de 10 a mais de 100 mg L⁻¹ (ETS LABORATORIES) e foram encontrados por essa pesquisa valores em torno de (99,5 ± 8,0) mg L⁻¹ para vinhos e (104,5 ± 15,1) mg L⁻¹ para sucos de uva integral.

Como os compostos fenólicos estão associados a uma vida saudável pelas suas propriedades antioxidantes, têm-se a necessidade de uma renovação em termos de métodos analíticos mais simples e diretos que também produzam resultados confiáveis. Através desse trabalho foi possível verificar a importância de avanços na pesquisa sobre métodos de quantificação de compostos fenólicos em vinhos e sucos de uva integral.

REFERÊNCIAS

- ABE, L. T.; DA MOTA, R. V.; GENOVESE, M. I.; LAJOLO, F. M. **Compostos fenólicos e capacidade antioxidante de cultivares de uvas *Vitis labrusca* L. e *Vitis vinifera* L.** Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 27, n. 2, p. 394-400, 2007.
- ANDJELKOVIC, M.; VAN CAMP, J.; PEDRA, M.; RENDERS, K.; SOCACIU, C.; VERHÉ, R. **Correlations of the phenolic compounds and the phenolic content in some Spanish and French olive oils.** Journal of Agricultural and Food Chemistry, Easton, v. 56, p. 5181–5187, 2008.
- ANGELO, P. M.; JORGE, N. **Compostos fenólicos em alimentos: uma breve revisão.** Revista Instituto Adolfo Lutz, São Paulo, v. 66, n. 1, p. 1-9, 2006.
- ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Guia para validação de métodos analíticos e bioanalíticos.** Resolução N° 899 de 29 de maio de 2003.
- DIAS, S. P.; MENEGON, R. F. **Comparação do teor de fenólicos totais e da ação antioxidante de sucos industrializados de uva e de vinhos tinto.** Revista Univap, São José dos Campos-SP, v. 18, n. 32, ISSN 2237-1753, 2012.
- EVERETTE, J. D. *et al.* **Thorough study of reactivity of various compound classes toward the Folin-Ciocalteu reagent.** Journal of Agricultural and Food Chemistry, Easton, v. 58, p. 8139-8144, 2010.
- GUTIÉRREZ-ESCOBAR, R.; ALIAÑO-GONZÁLEZ, M.J.; CANTOS-VILLAR, E. **Wine Polyphenol Content and Its Influence on Wine Quality and Properties: A Review.** Molecules, Basel, v. 26, n.3, p. 718-772., 2021.
- IDE, G. M.; SOCCOL, M. C. H.; VACCARI, N. F. S. **Compostos fenólicos em vinhos e seus efeitos antioxidantes na prevenção de doenças.** Revista de Ciências Agroveterinárias. Lages, v.8, n.1, p. 71-83, 2009.
- INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Orientação sobre validação de métodos analíticos. Documento de caráter orientativo, DOQ-CGCRE-008.** Revisão 04, julho de 2011.
- LEEuw, R., KEVERS, C., PINCEMAIL, J., DEFRAIGNE, J. O., & Dommes, J. **Antioxidant capacity and phenolic composition of red wines from various grape varieties: Specificity of Pinot Noir.** Journal of Food Composition and Analysis, Amsterdã, v. 36, n.1–2, p.40–50, 2014.
- OLIVEIRA, A. C. S. **Determinação de Polifenóis Totais em vinhos por espectrofluorimetria e sua ação antioxidante.** 2016. 41 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) – Curso de Química Industrial – Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2016.
- PADILHA, C. V. S., MISKINIS, G. A., SOUZA, M. E. A. O. de, PEREIRA, G. E., OLIVEIRA, D. de, BORDIGNON-LUIZ, M. T., LIMA, M. de S. **Rapid determination of flavonoids and phenolic acids in grape juices and wines by RP-HPLC/DAD: Method validation and characterization of commercial products of the new Brazilian varieties of grape.** Food Chemistry, Amsterdã, v. 228, p.106-115, 2017.
- SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Jr. **Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents.** American Journal of Enology and Viticulture, v. 16, p. 144-158, 1965.

Agência Brasileira ISBN
ISBN: 978-65-84610-13-2