

Ciências exatas em foco:

Interações entre pesquisa, atuação e inovação

Rafael Leal da Silva
Roger Goulart Mello
Organizadores



2022

Ciências exatas em foco:

Interações entre pesquisa,
atuação e inovação

Rafael Leal da Silva
Roger Goulart Mello
Organizadores



2022

2022 by Editora e-Publicar
Copyright © Editora e-Publicar
Copyright do Texto © 2022 Os autores
Copyright da Edição © 2022 Editora e-Publicar
Direitos para esta edição cedidos à Editora e-Publicar
pelos autores

Editora Chefe

Patrícia Gonçalves de Freitas

Editor

Roger Goulart Mello

Diagramação

Roger Goulart Mello

Projeto gráfico e Edição de Arte

Patrícia Gonçalves de Freitas

Revisão

Os autores

CIÊNCIAS EXATAS EM FOCO: INTERAÇÕES ENTRE PESQUISA, ATUAÇÃO E INOVAÇÃO, VOLUME 1.

Todo o conteúdo dos capítulos, dados, informações e correções são de responsabilidade exclusiva dos autores. O download e compartilhamento da obra são permitidos desde que os créditos sejam devidamente atribuídos aos autores. É vedada a realização de alterações na obra, assim como sua utilização para fins comerciais.

A Editora e-Publicar não se responsabiliza por eventuais mudanças ocorridas nos endereços convencionais ou eletrônicos citados nesta obra.

Conselho Editorial

Alessandra Dale Giacomini Terra – Universidade Federal Fluminense

Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa

Andrelize Schabo Ferreira de Assis – Universidade Federal de Rondônia

Bianca Gabriely Ferreira Silva – Universidade Federal de Pernambuco

Cristiana Barcelos da Silva – Universidade do Estado de Minas Gerais

Cristiane Elisa Ribas Batista – Universidade Federal de Santa Catarina

Daniel Ordane da Costa Vale – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Danyelle Andrade Mota – Universidade Tiradentes

Dayanne Tomaz Casimiro da Silva - Universidade Federal de Pernambuco

Diogo Luiz Lima Augusto – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Elis Regina Barbosa Angelo – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo

Ernane Rosa Martins - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás

Fábio Pereira Cerdera – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Francisco Oricelio da Silva Brindeiro – Universidade Estadual do Ceará

Glaucio Martins da Silva Bandeira – Universidade Federal Fluminense

Helio Fernando Lobo Nogueira da Gama - Universidade Estadual De Santa Cruz

Inaldo Kley do Nascimento Moraes – Universidade CEUMA

João Paulo Hergesel - Pontifícia Universidade Católica de Campinas



2022

Jose Henrique de Lacerda Furtado – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Jordany Gomes da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Jucilene Oliveira de Sousa – Universidade Estadual de Campinas
Luana Lima Guimarães – Universidade Federal do Ceará
Luma Mirely de Souza Brandão – Universidade Tiradentes
Mateus Dias Antunes – Universidade de São Paulo
Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes
Naiola Paiva de Miranda - Universidade Federal do Ceará
Rafael Leal da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Rita Rodrigues de Souza - Universidade Estadual Paulista
Rodrigo Lema Del Rio Martins - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Willian Douglas Guilherme - Universidade Federal do Tocantins

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

C569 Ciências exatas em foco [livro eletrônico] : interações entre pesquisa, atuação e inovação: volume 1 / Organizadores Rafael Leal da Silva, Roger Goulart Mello. – Rio de Janeiro, RJ: e-Publicar, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-89950-97-4

1. Ciências exatas – Pesquisa – Brasil. I. Silva, Rafael Leal da.
II. Mello, Roger Goulart.

CDD 500.7

Elaborado por Ana Carolina Silva de Souza Jorge – CRB6/2610

Editora e-Publicar

Rio de Janeiro – RJ – Brasil
contato@editorapublicar.com.br
www.editorapublicar.com.br



2022

APRESENTAÇÃO

É com grande satisfação que a Editora e-Publicar vem apresentar a obra intitulada “Ciências exatas em foco: Interações entre pesquisa, atuação e inovação, Volume 1”. Neste livro, engajados pesquisadores contribuíram com suas pesquisas. Esta obra é composta por capítulos que abordam múltiplos temas da área.

Desejamos a todos uma excelente leitura!

Editora e-Publicar

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	10
PERCEPÇÕES DE PROFESSORES DO ENSINO MÉDIO DE UMA ESCOLA ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL SOBRE DIFICULDADES DE APRENDIZAGEM EM MATEMÁTICA	10
DOI: 10.47402/ed.ep.c2022100937998	Malcus Cassiano Kuhn
CAPÍTULO 2.....	30
ZONEAMENTO EDAFOCLIMÁTICO DO CAJU PARA O ESTADO DE GOIÁS.....	30
	André Luiz Ribas de Oliveira
	Vandervilson Alves Carneiro
	João Carlos Mohn Nogueira
	Sandra Máscimo da Costa e Silva
	Cassia Monalisa dos Santos Silva
	Renata Gonçalves Lacerda Oliveira
CAPÍTULO 3.....	43
ZONEAMENTO EDAFOCLIMÁTICO DA CULTURA DO MORANGO PARA O ESTADO DE GOIÁS.....	43
	André Luiz Ribas de Oliveira
	Vandervilson Alves Carneiro
	Sandra Máscimo da Costa e Silva
	João Carlos Mohn Nogueira
	Cassia Monalisa dos Santos Silva
	Renata Gonçalves Lacerda Oliveira
CAPÍTULO 4.....	56
APLICAÇÃO DE HEURÍSTICA DO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE EM UMA USINA SUCROALCOOLEIRA.....	56
DOI: 10.47402/ed.ep.c20229144974	Eduarda Aparecida Siqueira De Paula
	Juliana Verga Shirabayashi
	Jair Da Silva
CAPÍTULO 5.....	68
MODELO PARA O CÁLCULO DE ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE (IS) APLICADO EM ORGANIZAÇÕES AGRÍCOLAS.....	68
DOI: 10.47402/ed.ep.c20229155974	Cristiane Romagnoli Tavares Tomaszewski
	Stella Alonso Rocha
	Andreia Cristina Peres Rodrigues da Costa
CAPÍTULO 6.....	86
REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE A APLICAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EM SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO AGRÍCOLA	86
DOI: 10.47402/ed.ep.c20229166974	Jéssica Soraia Souza Macedo
	Ellis Ângela Barbosa de Araújo Simões
	Siomara D. da Rocha

CAPÍTULO 7.....	96
CICLOVIAS EM MANAUS: CENÁRIO E INCITAÇÃO PARA O EMPREGO DA BICICLETA NO MODAL CICLOVIÁRIO DO MUNICÍPIO DE MANAUS-AM	96
DOI: 10.47402/ed.ep.c20229177974	João Ramon Cota dos Santos Abel de Oliveira Costa Filho
CAPÍTULO 8.....	114
CIÊNCIA EM FOCO: INVESTIGAÇÕES SOBRE AS TAXAS DE CLOROFILA EM PLANTAS DA REGIÃO DE PALMAS - PR	114
DOI: 10.47402/ed.ep.c20229188974	Gabriel Neves Alves Jaqueline Nicolini Keller Paulo Nicolini
CAPÍTULO 9.....	127
ANÁLISE DA COBERTURA VEGETAL ATRAVÉS DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA NA CIDADE DE JUAZEIRO DO NORTE – CE	127
DOI: 10.47402/ed.ep.c20229199974	Antônio Soares Barros Lucas Menezes de Farias Jefferson Luiz Alves Marinho
CAPÍTULO 10.....	144
COMPARATIVO DE LEVANTAMENTO DE QUANTITATIVOS DE MATERIAIS EM RESIDÊNCIA DE BAIXO PADRÃO NA CIDADE DE MANAUS UTILIZANDO MÉTODO CONVENCIONAL X BIM.....	144
DOI: 10.47402/ed.ep.c202292010974	Marcus Vinícius Reis de Oliveira de Sicco Ellis Ângela Barbosa de Araújo Simões
CAPÍTULO 11.....	155
ANÁLISE VISUAL E MANIFESTAÇÕES DE PATOLOGIA NO COMPLEXO VIÁRIO ENG. LUIZ AUGUSTO VEIGAS SOARES	155
DOI: 10.47402/ed.ep.c202292111974	Wellington Charles Costa Sousa Ellis Ângela B. de A. Simões
CAPÍTULO 12.....	168
ELABORAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E ORGANOLÉPTICA DE UM XAMPU A PARTIR DO HIDROLATO EXTRAÍDO DA ERVA CIDREIRA (<i>LIPPIA ALBA</i>) ESPÉCIE POPULAR NO SUDESTE DO PARÁ, EM MARABÁ.....	168
	Alciene Lima dos Santos Márcia Brito de Jesus Wallinson Pires da Cruz Márcia Denise da Rocha Collinge Rosemary Maria Pimentel Coutinho
CAPÍTULO 13.....	180
ANÁLISE DA PAISAGEM URBANA DO MUNICÍPIO DE ARACAJU: PROJETO INSPIRADO EM TABULEIRO DE XADREZ	180
	Milleny Gabrielle Santos Paulo Sérgio de Rezende Nascimento

CAPÍTULO 14.....	191
AS POTENCIALIDADES DAS ANTOCIANINAS E A SUA UTILIZAÇÃO COMO CORANTE NATURAL.....	191
	Sheminy de Freitas Zahreddine Maria de Fátima de Mendes Paixão Emilly Adorno de Lima Vasconcelos
CAPÍTULO 15.....	211
SÍNTESE DE FOLATOS TERAPÊUTICOS PARA O TRATAMENTO DO CÂNCER E DA sars-cov-2	211
DOI: 10.47402/ed.ep.c202292215974	Diego Luan Bertuzzi Gabriel Perli Ana Paula Barth
CAPÍTULO 16.....	230
BIOSSENSORES: PRINCÍPIOS E APLICAÇÕES DE MOLÉCULAS ORGÂNICAS NA CAMADA DE DETECÇÃO	230
DOI: 10.47402/ed.ep.c202292316974	Diego Luan Bertuzzi
CAPÍTULO 17.....	251
APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE DESIGN THINKING NA CRIAÇÃO DE JOGOS DIGITAIS SÉRIOS.....	251
DOI: 10.47402/ed.ep.c202292417974	Pedro Augusto Paladino Ribeiro José Reinaldo Merlin Maísa Lucia Cacita Milani Daniela de Freitas Guilhermino Trindade
CAPÍTULO 18.....	268
INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA DE UM RESÍDUO DA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS NA ADSORÇÃO DO CORANTE ASTRAZON AZUL FGGL 300%.....	268
DOI: 10.47402/ed.ep.c202292518974	Tainan Miguel Ivonete O. Barcellos



CAPÍTULO 1

PERCEPÇÕES DE PROFESSORES DO ENSINO MÉDIO DE UMA ESCOLA ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL SOBRE DIFICULDADES DE APRENDIZAGEM EM MATEMÁTICA

DOI: 10.47402/ed.ep.c2022100937998

Malcus Cassiano Kuhn

RESUMO

O estudo apresenta reflexões sobre dificuldades de aprendizagem em Matemática a partir de percepções de professores do Ensino Médio de uma escola estadual do Rio Grande do Sul. Trata-se de uma pesquisa quanti-qualitativa, com aproximações de um estudo de caso. A partir de um estudo bibliográfico sobre Teoria da Aprendizagem Significativa, ensino da Matemática e aspectos históricos das dificuldades de aprendizagem em Matemática e de uma pesquisa de campo com cinco professores do Ensino Médio, procuram-se identificar causas das dificuldades de aprendizagem em Matemática. As dificuldades estão relacionadas a fatores intra e extra-escolares, tais como: falta de interesse dos estudantes para aprender; falta de conhecimentos básicos de conteúdos desenvolvidos no Ensino Fundamental e metodologia de ensino. Para mudar tal situação, sugere-se: reorganização curricular, valorizando a postura ativa do estudante e o desenvolvimento de habilidades e competências; dinamização de estratégias de ensino; inovação de recursos didáticos; ressignificação do processo avaliativo.

PALAVRAS-CHAVE: Matemática. Dificuldades de Aprendizagem. Ensino Médio. Ensino. Aprendizagem.

INTRODUÇÃO

A Matemática surgida na antiguidade, por necessidade da vida cotidiana, converteu-se numa importante disciplina que faz parte do currículo escolar. Assim como as demais ciências, reflete as leis sociais e serve como instrumento para o conhecimento do mundo e domínio sobre a natureza. Os processos de ensino e de aprendizagem de Matemática tem sido motivo de discussões e de propostas de mudanças, visando à melhoria de sua qualidade.

Conforme Huete e Bravo (2006), os processos de ensino e de aprendizagem de Matemática implicam numa relação bilateral, tanto da pessoa que ensina quanto daquela que aprende, sendo evolutivo e constante:

O processo de ensino e aprendizagem da matemática inicia a partir da intuição e progressivamente aproxima-se da dedução. Essa forma de construir o conhecimento matemático relega, em parte, qualquer tentativa de se apropriar de modo mecânico de procedimentos e algoritmos para a resolução de problemas reais. Por outro lado, vincula tal procedimento a um planejamento de seu ensino e aprendizagem fundamentados no nível de cognição dos alunos. (HUETE; BRAVO, 2006, p. 23).

Nos últimos anos, o número de estudantes com dificuldades de aprendizagem (DA) aumentou, talvez, porque a escola se tornou acessível para todas as classes sociais. Dessa forma,



os processos de ensino e de aprendizagem vêm sendo discutidos, responsabilizando-se, inicialmente, o estudante e a família e, depois, o professor. Contudo, existe uma complexidade maior subjacente às DA, que envolve questões de dificuldades do estudante com a escola.

Nesse sentido, o objetivo desta pesquisa foi identificar possíveis causas das DA em Matemática no Ensino Médio (EM), em uma escola estadual do interior do Rio Grande do Sul (RS), a partir de percepções de professores. O estudo foi realizado por um grupo de pesquisa vinculado a uma Instituição Federal. Trata-se de uma pesquisa quanti-qualitativa, com aproximações de um estudo de caso. Está fundamentada na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, Novak e Gowin, que formam um corpo teórico coerente sobre os processos de ensino e de aprendizagem, para o dia a dia da sala de aula. Além disto, utilizaram-se os métodos teóricos de análise e síntese com leituras de documentos e autores e que abordam a Matemática no EM e os aspectos históricos das DA em Matemática.

Por fim, os resultados da pesquisa de campo com cinco professores de Matemática do EM são analisados, para identificar possíveis causas das DA em Matemática e propor alternativas para que professores e estudantes possam superá-las.

TEORIA DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Conforme Moreira (1999) a Teoria de Aprendizagem Significativa (TAS) ou Teoria da Assimilação de Ausubel é uma teoria que propõe explicar o processo de aprendizagem que ocorre na mente humana, através da organização e integração do material de aprendizagem na estrutura cognitiva. Para Moreira (2012, p. 2):

Aprendizagem significativa é aquela em que ideias expressas simbolicamente interagem de maneira substantiva e não-arbitrária com aquilo que o aprendiz já sabe. Substantiva quer dizer não-literal, não ao pé-da-letra, e não-arbitrária significa que a interação não é com qualquer ideia prévia, mas sim com algum conhecimento especificamente relevante já existente na estrutura cognitiva do sujeito que aprende.

A TAS considera necessárias duas condições para que a aprendizagem ocorra de forma significativa: a disposição do estudante para aprender e o material didático desenvolvido deve ser potencialmente significativo para o estudante, além de ser construído a partir dos seus conhecimentos prévios.

Por alguma razão, o sujeito que aprende deve se predispor a relacionar (diferenciando e integrando) interativamente os novos conhecimentos a sua estrutura cognitiva prévia, modificando-a, enriquecendo-a, elaborando-a e dando significados a esses conhecimentos. Pode ser simplesmente porque ela ou ele sabe que sem compreensão não terá bons resultados nas avaliações. Aliás, muito da aprendizagem memorística sem significado (a chamada aprendizagem mecânica) que usualmente ocorre na escola resulta das avaliações e procedimentos de ensino que estimulam esse tipo de aprendizagem. (MOREIRA, 2012, p. 8).

Nesse sentido, o professor tem um papel fundamental na facilitação da aprendizagem significativa, conforme descrito no Quadro 1:

Quadro 1 – Tarefas do professor na facilitação da aprendizagem significativa

Identificar a estrutura conceitual e proposicional da matéria de ensino.
Identificar os conhecimentos prévios relevantes à aprendizagem do conteúdo a ser ensinado, que o estudante deveria ter em sua estrutura cognitiva para poder aprender significativamente este conteúdo.
Diagnosticar aquilo que o estudante já sabe, determinando os conhecimentos prévios relevantes que estão disponíveis na estrutura cognitiva do estudante.
Ensinar utilizando recursos e princípios que facilitem a aquisição da estrutura conceitual da matéria de ensino de uma maneira significativa.

Fonte: Adaptado de Moreira, 1999, p. 162.

A TAS recebeu contribuições de Novak e Gowin, dando uma visão humanista para a teoria. Novak assume que “a aprendizagem significativa subjaz à integração construtiva entre pensamento, sentimento e ação que conduz ao engrandecimento (empowerment) humano” (MOREIRA, 1999, p. 171). Portanto, a premissa básica da teoria de Novak é que os seres humanos pensam, sentem e atuam (fazem). De acordo com Novak (1981) *apud* Moreira (1999), qualquer evento educativo é uma ação para trocar significados e sentimentos entre o aprendiz e o professor. O Quadro 2 apresenta princípios norteadores considerados consistentes com a teoria de Novak:

Quadro 2 – Proposições norteadoras de acordo com a teoria de Novak

Todo evento educativo envolve cinco elementos: aprendiz, professor, conhecimento, contexto e avaliação.
Pensamentos, sentimentos e ações estão interligados, positiva ou negativamente.
A aprendizagem significativa requer: disposição para aprender, materiais potencialmente significativos e algum conhecimento relevante.
Atitudes e sentimentos positivos em relação à experiência educativa têm suas raízes na aprendizagem significativa e, por sua vez, a facilitam.
O conhecimento humano é construído; a aprendizagem significativa subjaz a essa construção.
O conhecimento prévio do aprendiz tem grande influência sobre a aprendizagem significativa de novos conhecimentos.
Significados são contextuais; aprendizagem significativa não implica aquisição de significados “corretos”.
Conhecimentos adquiridos por aprendizagem significativa são muito resistentes à mudança.
O ensino deve ser planejado de modo a facilitar a aprendizagem significativa e a ensinar experiências afetivas positivas.
A avaliação da aprendizagem deve procurar evidências de aprendizagem significativa.
O ensino, o currículo e o contexto também devem ser avaliados.
Mapas conceituais podem ser representações válidas da estrutura conceitual/proposicional de conhecimento de um indivíduo; podem ser instrumentos de meta-aprendizagem.
O Vê epistemológico pode ser útil para compreender a estrutura do conhecimento; pode ser instrumento de meta conhecimento.
Mapas conceituais e diagramas Vê podem ser instrumentos efetivos de avaliação da aprendizagem.

Fonte: Moreira, 1999, p. 171-172.



Conforme Moreira (1999), Gowin propõe uma relação triádica entre estudante, materiais educativos e professor, cujo objetivo é o compartilhar significados. Quando este objetivo é alcançado, o estudante está pronto para decidir se quer ou não aprender significativamente. Portanto, os processos de ensino e de aprendizagem se caracterizam pelo compartilhamento de significados entre estudante e professor, a respeito de conhecimentos veiculados por materiais educativos do currículo. Isto quer dizer que “o ensino se consuma quando o significado do material que o aluno capta é o significado que o professor pretende que esse material tenha para o aluno” (GOWIN, 1981, p. 81, tradução nossa).

MATEMÁTICA NO ENSINO MÉDIO

A consolidação do Estado democrático, as novas tecnologias e as mudanças na produção de bens, serviços e conhecimentos exigem que a escola possibilite aos estudantes do EM se integrem ao mundo contemporâneo nas dimensões fundamentais da cidadania e do trabalho. De acordo com as Diretrizes Curriculares Nacionais Gerais da Educação Básica (BRASIL, 2013), busca-se dar significado ao conhecimento escolar, mediante a contextualização, evitando a compartimentalização, mediante a interdisciplinaridade e incentivando o raciocínio e a capacidade de aprender.

Propõe-se, no nível do EM, a formação geral, em oposição à formação específica; o desenvolvimento de capacidades de pesquisar, buscar informações, analisá-las e selecioná-las; a capacidade de aprender, criar, formular, ao invés do simples exercício de memorização (BRASIL, 2013). Conforme as Diretrizes Curriculares Nacionais Gerais da Educação Básica, pensar um novo currículo para o EM coloca em presença dois fatores: as mudanças estruturais que decorrem da chamada revolução do conhecimento, alterando o modo de organização do trabalho e as relações sociais; e a expansão crescente da rede pública, que deverá atender a padrões de qualidade que se coadunem com as exigências desta sociedade (BRASIL, 2013).

Numa sociedade em que, cada vez mais, se fazem sentir os efeitos dos avanços tecnológicos, é preciso conhecer um dos suportes básicos para esses avanços, que é a Matemática. Ela se distingue por seu aspecto formal e abstrato e por sua natureza dedutiva. Em contrapartida, sua construção está ligada a uma atividade concreta sobre os objetos para a qual o estudante necessita da intuição como processo mental. A partir desse tipo de elaboração, a Matemática é mais construtiva que dedutiva, com seu caráter de representação, explicação e previsão da realidade (BRASIL, 2013).

De acordo com a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), cuja versão final para o EM foi homologada em 2018:

A área de Matemática, no Ensino Fundamental, centra-se na compreensão de conceitos e procedimentos em seus diferentes campos e no desenvolvimento do pensamento computacional, visando à resolução e formulação de problemas em contextos diversos. No Ensino Médio, na área de Matemática e suas Tecnologias, os estudantes devem consolidar os conhecimentos desenvolvidos na etapa anterior e agregar novos, ampliando o leque de recursos para resolver problemas mais complexos, que exijam maior reflexão e abstração. Também devem construir uma visão mais integrada da Matemática, da Matemática com outras áreas do conhecimento e da aplicação da Matemática à realidade (BRASIL, 2018, p. 471).

Nesse sentido, o documento da BNCC aponta que, em Matemática, os estudantes devem desenvolver habilidades relativas aos processos de investigação, de construção de modelos e de resolução de problemas (BRASIL, 2018). Para tanto, devem desenvolver competências que envolvam raciocinar, representar, comunicar e argumentar. No Quadro 3 se apresentam as cinco competências específicas de Matemática e suas Tecnologias para serem desenvolvidas pelos estudantes do EM, de acordo com a BNCC:

Quadro 3 – Competências específicas a serem desenvolvidas em Matemática no EM

Utilizar estratégias, conceitos e procedimentos matemáticos para interpretar situações em diversos contextos, sejam atividades cotidianas, sejam fatos das Ciências da Natureza e Humanas, das questões socioeconômicas ou tecnológicas, divulgados por diferentes meios, de modo a contribuir para uma formação geral.
Propor ou participar de ações para investigar desafios do mundo contemporâneo e tomar decisões éticas e socialmente responsáveis, com base na análise de problemas sociais, como os voltados a situações de saúde e de sustentabilidade, das implicações da tecnologia no mundo do trabalho, mobilizando e articulando conceitos, procedimentos e linguagens próprios da Matemática.
Utilizar estratégias, conceitos, definições e procedimentos matemáticos para interpretar, construir modelos e resolver problemas em diversos contextos, analisando a plausibilidade dos resultados e a adequação das soluções propostas, de modo a construir argumentação consistente.
Compreender e utilizar, com flexibilidade e precisão, diferentes registros de representação matemáticos (algébrico, geométrico, estatístico, computacional, etc.), na busca de solução e comunicação de resultados de problemas.
Investigar e estabelecer conjecturas a respeito de diferentes conceitos e propriedades matemáticas, empregando estratégias e recursos, como observação de padrões, experimentações e diferentes tecnologias, identificando a necessidade, ou não, de uma demonstração cada vez mais formal na validação das referidas conjecturas.

Fonte: Brasil, 2018, p. 531.

A visão da Matemática como uma maneira de pensar, como um processo em permanente evolução, permite ao estudante, dinamicamente, a construção e apropriação do conhecimento. Permite também que o estudante a compreenda no contexto histórico e sócio-cultural em que ela foi elaborada e continua se desenvolvendo. Apropriar-se dos conceitos e procedimentos matemáticos básicos contribui para a formação do futuro cidadão que se engajará no mundo do



trabalho, das relações sociais, culturais e políticas. Para exercer plenamente a cidadania é preciso saber contar, comparar, medir, calcular, resolver problemas, argumentar logicamente, conhecer formas geométricas e organizar, analisar e interpretar criticamente as informações.

Segundo Dante (2002), compreender e usar as ideias básicas de Matemática no seu dia a dia é um direito de todos os estudantes, e não apenas daqueles que têm mais afinidade com o raciocínio lógico. A Matemática está presente em praticamente tudo, com maior ou menor complexidade. Perceber isso é compreender o mundo à sua volta e poder atuar nele. E a todos, deve ser dada essa possibilidade de compreensão e atuação como cidadão. Em casa, na rua, no comércio, nas várias profissões, na cidade, no campo, nas várias culturas, o homem necessita contar, calcular, comparar, medir, localizar, representar, interpretar, e o faz informalmente, à sua maneira, com base em parâmetros do seu contexto sócio-cultural. É preciso que esse saber informal, cultural, se incorpore ao trabalho matemático escolar, diminuindo a distância entre a Matemática da escola e a Matemática da vida.

O matemático Thomaz O'brien (2000) chama o jeito tradicional de ensinar, de matemática do papagaio, uma vez que o estudante decora conteúdos para apresentá-los toda vez que o professor desejar. O jeito tradicional de ensinar Matemática se apoia na memorização de fatos e procedimentos totalmente desvinculados do contexto da vida real.

Segundo Huete e Bravo (2006), são quatro os tipos de aprendizagem matemática: a memorização, a aprendizagem algorítmica, a aprendizagem de conceitos e a resolução de problemas. No Quadro 4 se apresentam algumas considerações sobre cada tipo de aprendizagem matemática:

Quadro 4 – Tipo de aprendizagem matemática

O conceito de memorização deve ser entendido em função de uma memória operativa, a qual age sobre estruturas significativas de conhecimentos e cuja finalidade é armazenar, em longo prazo, a informação nova. Com base nisso, deve-se omitir qualquer tentativa de baseá-la na simples repetição mecânica, para o que é indispensável inter-relacionar de forma lógica os conceitos. Uma vez conseguida a memorização dos dados e conceitos, é importante fixá-la mediante repasses mentais sistemáticos ou servir-se da ajuda de esquemas.

A aprendizagem algorítmica necessita da memória para inferir o método exato, além de carregar a dificuldade frente à escassa significação que os algoritmos matemáticos possuem a priori. Para vencer as dificuldades que poderia existir, o mais exequível é apresentar essas aprendizagens como processos de rotina e averiguar em qual contexto pode se utilizar um conceito e em qual não.

O caráter de abstração que a Matemática possui torna difícil a definição de conceitos matemáticos; mais ainda, o fato de se constituir num saber onde predomina a construção hierárquica de alguns conceitos sobre a base de outros, dificulta essa possível definição, sobretudo considerando que os conceitos de condição superior não são transmitidos por simples definição, pois conceito não é definível em si mesmo, ainda que possa ser exemplificado. O uso de exemplos é o melhor fator de

ajuda nas definições matemáticas de um conceito. Nesse sentido, deveriam se realizar atividades práticas ou a resolução de problemas para se conseguir a compreensão matemática.

Resolver problemas não é buscar solução concreta; consiste em facilitar o conhecimento das habilidades básicas, dos conceitos fundamentais e da relação entre ambos. É um processo no qual, combinando distintos elementos que o estudante possui como pré-conceitos, regras e habilidades, uma boa dose de reflexão e uma ótima provisão de conhecimentos e capacidades, nas quais se confronta o estudante com situações da vida real, em que a Matemática adquire um papel preponderante e necessário. Para que os problemas sejam pertinentes devem ser adequados, motivadores e fornecedores da formação integral.

Fonte: Adaptado de Huete e Bravo, 2006, p. 75-76.

Ressalta-se que a Matemática que vem sendo ensinada nas escolas, a exemplo de outras disciplinas, ainda está distante daquela que é utilizada como suporte do grau de sofisticação da própria atividade cotidiana. Uma aprendizagem significativa obriga o estudante a observar, perguntar, formular hipóteses, relacionar conhecimentos novos com aqueles que possui e tirar conclusões lógicas a partir dos dados obtidos. Enfim, exige que construa, paralelamente, fatos, conceitos, princípios, procedimentos e estratégias relativas ao conhecimento matemático. Para Huete e Bravo (2006, p. 21), “a Matemática é uma criação da mente humana, e seu ensino deve transformar-se em autênticos processos de descoberta por parte do aluno. Não se aprende Matemática, faz-se”.

HISTÓRICO DAS DIFICULDADES DE APRENDIZAGEM EM MATEMÁTICA

As DA devem ser entendidas a partir das raízes históricas, baseando-se em diversas ciências médicas, educativas e psicológicas:

Dificuldade de aprendizagem é um termo geral que se refere a um grupo heterogêneo de transtornos que se manifestam por dificuldades significativas na aquisição e uso da escuta, fala, leitura, escrita, raciocínio ou habilidades matemáticas. Esses transtornos são intrínsecos ao indivíduo, supondo-se devido à disfunção do sistema nervoso central, e podem ocorrer ao longo do ciclo vital. Podem existir, junto com as dificuldades de aprendizagem, problemas nas condutas de auto-regulação, percepção social e interação social, mas não constituem, por si próprias, uma dificuldade de aprendizagem. Ainda que as dificuldades de aprendizagem possam ocorrer concomitantemente com outras condições incapacitantes (por exemplo, deficiência sensorial, retardamento mental, transtornos emocionais graves) ou com influências extrínsecas (tais como as diferenças culturais, instrução inapropriada ou insuficiente), não são o resultado dessas condições ou influências. (GARCIA, 1998, p. 31).

O transtorno da Matemática é reconhecido há muitas décadas, como se evidencia por termos aplicados à condição, mas não foi reconhecido como um transtorno psiquiátrico senão em 1980, na terceira edição do Manual de Diagnóstico e Estatística de Transtornos Mentais. A terminologia antiga para o transtorno inclui “Síndrome de Gerstmann”, “discalculia”, “transtorno aritmético congênito”, “acalculia” e “transtorno do desenvolvimento da aritmética”.



De acordo com a quarta edição do Manual de Diagnóstico e Estatístico de Transtornos Mentais, o transtorno da Matemática faz parte dos transtornos de aprendizagem.

Tratam-se de dificuldades significativas no desenvolvimento das habilidades relacionadas com a Matemática (SEMRUD–CLIKEMANN; HYND, 1992 *apud* GARCIA, 1998). Essas dificuldades não são ocasionadas pela deficiência mental, nem por escolarização escassa ou inadequada, nem por déficits visuais ou auditivos (SMITH; RIVERA, 1991 *apud* GARCIA, 1998). Apenas se classificam como tais, quando acontece uma alteração ou deterioração relevante dos rendimentos escolares ou da vida cotidiana (KELLER; SUTTON, 1991 *apud* GARCIA, 1998).

No que tange às DA em Matemática, sua primeira explicação histórica foi a neuropsicológica:

Morrison e Siegel (1991), fazem a dupla distinção de acalculia, quando se produz uma dificuldade de aprendizagem da matemática ocasionada por uma lesão cerebral numa pessoa adulta, e de discalculia, quando não há evidências de lesão ou disfunção cerebral que ocasione estas dificuldades e se dê numa criança. Evidentemente, se a criança com discalculia chega à fase adulta e mantém sua dificuldade de aprendizagem da matemática, também deveríamos falar de acalculia. (MORRISON; SIEGEL, 1991 *apud* GARCIA, 1998, p. 60).

A acalculia se refere a adultos ou a crianças e jovens, mas é de caráter lesional e ocorre após ter sido iniciada a aquisição da função. Por sua vez, a discalculia se refere, sobretudo, a crianças, é evolutiva, pode se dar em adultos, mas não é lesional, e estaria associada com as DA da Matemática (GARCIA, 1998).

A distinção anterior reflete o foco em que esse tipo de explicação se centra: nas disfunções neurológicas e nos processos internos. A partir de Garcia (1998), destacam-se algumas alterações das habilidades matemáticas: déficits no conceito de número e nas operações matemáticas; percepção incorreta dos nomes de quantidades; déficits na estrutura categórica dos números, o que se reflete nos erros ao ler ou escrever os números; déficits no reconhecimento das relações entre os números; déficits na habilidade de decodificar a informação no contexto da solução de problemas; compreensão adequada de sistemas conceituais e lógico-gramaticais das relações numéricas; dificuldades sérias no planejamento da solução.

Conforme Garcia (1998), a explicação educativa representou a segunda forma de explicar as DA em Matemática. Passou-se de uma explicação baseada em processos cognitivos internos a fatores de execução externos. Apoiou-se em dificuldades nas habilidades pré-requeridas, na escassez ou ausência de instrução, na incorreta apresentação de estímulos, no



reforço inadequado ou insuficiente e nas escassas oportunidades para a prática. Portanto, baseou-se, exclusivamente, nas estratégias de ensino da Matemática. Esse enfoque foi criticado por não considerar o construtivismo do conhecimento da criança, por ser puramente reativo e ignorar a personalidade global do estudante com DA em Matemática e seus processos internos, seus desejos, intenções e planos. Dessa forma, as aprendizagens não seriam significativas e relevantes para as pessoas que as aprendem.

A explicação cognitiva das DA em Matemática está relacionada com o estabelecimento de regras inapropriadas na resolução de problemas, a incapacidade de abstração e o paradigma dos tempos de reação para o estabelecimento de modelos mentais dos problemas aritméticos.

Segundo Garcia (1998), o estabelecimento de regras inapropriadas está relacionado com os procedimentos para a resolução de problemas que não são internalizados pelos estudantes. Na escola, o professor verbaliza os procedimentos e regras adequadas a seguir na solução dos problemas matemáticos. Essa explicação possibilita que o estudante, durante o processo de instrução e interação educativa, vá internalizando as regras procedimentais, praticando-as, automatizando-as e colocando-as em funcionamento, aplicando-as ao lhe serem apresentados os problemas matemáticos. Todavia, quando os resultados são os erros na resolução dos problemas, a intervenção educativa deverá diagnosticar o caminho em que a internalização e o uso das regras procedimentais em relação à solução dos problemas matemáticos falha para intervir de forma eficaz.

A aprendizagem matemática exige certa desvinculação dos interesses, significados, intenções próximas ao estudante, o que a converte numa experiência mental árdua. Aqueles que não conquistam esta abstração, que supõe o conhecimento matemático, enfrentam DA. Então, o estudante deve ser capaz de extrair do contexto os elementos essenciais ou relevantes, que estão além dos contextos e desvinculados de suas intenções e desejos, mas que são necessários abstrair e construir em forma de regras procedimentais ou em forma de modelos (GARCIA, 1998).

Com relação ao paradigma dos tempos de reação para o estabelecimento de modelos mentais dos problemas aritméticos, sabe-se que os estudantes que apresentam DA em Matemática têm maior lentidão ou pobre eficiência operacional na resolução de problemas matemáticos e isso pode estar relacionado aos níveis de leitura não controlados. Entre adolescentes de 14 anos com DA em Matemática, começava-se a observar a mudança de estratégia na resolução, mas com maior lentidão (GARCIA, 1998).



Há ainda de se considerar um quarto enfoque, o ecológico. Para Bartoli (1990) apud Garcia (1998), as DA não podem ser todas questões do próprio estudante, mas que é possível conceber, de uma maneira ampla, os fatores culturais e comunitários, familiares e escolares numa visão ecológica da aprendizagem. Omitir fatores sociais, econômicos ou culturais é ter uma mente estreita em relação à aprendizagem, a qual deve ser multidisciplinar, em diálogo cooperativo na solução de problemas dentro de um marco ecológico.

Para Bartoli e Botel (1988) *apud* Garcia (1998), cinco elementos permitiram construir uma concepção de DA enfatizando aspectos ecológicos dos processos pelos quais se aprende:

– A interação social: É a linha iniciada por Vygotsky e retomada pelos enfoques sócio-histórico-culturais. A aprendizagem supõe um autêntico diálogo, uma autêntica comunicação aprendiz-mestre, em igualdade e respeito, em processos de mediação instrumental e semiótica, atuando o professor na zona de desenvolvimento proximal de forma dinâmica, em microcosmos ou formatos agradáveis e motivantes em que se repetem as tarefas e se possibilita a aprendizagem.

– Reflexão e resposta pessoal: O estudante aprende de forma ativa, pessoal e afetiva em processos interativos com o contexto físico e social, com o professor, com os outros estudantes e com as tarefas. Tudo isso dentro de um sistema completo de interinfluências.

– Integração: As diferentes competências que participam na aprendizagem devem ser tratadas de uma maneira harmônica e complexa, ou seja, de forma integrada.

– Transformação e crescimento: A mudança que se produz com a aprendizagem supõe a conquista de novos níveis de conhecimento, consciência, pensamento, criatividade, poder transformador ou liberador, na terminologia de Freire. Isto supõe a conexão entre consciência, reflexão e prática.

– Globalidade ecológica, equilíbrio e ajuste: Em cada ser que aprende, atuam diversos sistemas interagindo a cultura e a natureza, concretizado na família, escola, estudante e comunidade, de forma equilibrada e encaixada como um todo, buscando a formação integral do ser humano.

Para que se produza uma aprendizagem, de acordo com Garcia (1998), é necessária a atuação de forma conjugada dos cinco elementos. Podem-se observar DA se algum deles falha. Assim, as dificuldades dos transtornos do desenvolvimento da Matemática estão relacionadas com diversas atividades que:



Incluem habilidades linguísticas (como a compreensão e o emprego da nomenclatura matemática, a compreensão ou denominação de operações matemáticas e a codificação de problemas representados com símbolos matemáticos), habilidades perceptivas (como o reconhecimento ou a leitura de símbolos numéricos ou sinais aritméticos, e o agrupamento de objetos em conjuntos), habilidades de atenção (como copiar figuras corretamente nas operações matemáticas básicas, recordar o número que transportamos e que devemos acrescentar a cada passo, e observar os sinais das operações) e as habilidades matemáticas (como o seguimento das sequências de cada passo nas operações matemáticas, contar objetos e aprender as tabuadas de multiplicar). (GARCIA, 1998, p. 211).

Em um caso típico de transtorno da Matemática, uma investigação minuciosa da história do rendimento escolar revela as dificuldades anteriores da criança com questões matemáticas. O diagnóstico definitivo pode ser feito após a realização de um teste de matemática padronizado, administrado individualmente, com uma pontuação acentuadamente abaixo do nível esperado, levando em conta a escolarização e aptidão intelectual da criança medida por um teste padronizado de inteligência.

Fonseca (1995) aponta alguns fatores que desfavorecem a aprendizagem e que o professor precisa reconhecer para melhorar os processos de ensino e de aprendizagem:

- A criança não aprende porque não consegue lidar com normas e regras da vida;
- A criança não estabeleceu regras e limites, o que dificulta o trabalho intelectual;
- Tem problema de saúde que atrapalha a aprendizagem;
- Vai mal na escola por ser desorganizado;
- Pode ter dificuldade específica na leitura e escrita, embora seja muito inteligente e aprende muitas coisas;
- A forma de a escola ensinar não é a forma com que ela consegue aprender;
- Pode não ver sentido no que está aprendendo porque o professor não sabe mostrar onde ela irá usar tal conhecimento na vida;
- Pode não aprender porque seu professor não gosta de ensinar;
- Porque seu professor não gosta da sua profissão, e por isso, pode não ser um bom profissional;
- O seu professor, confuso com os modismos na educação, esquece qual é o seu papel e como desempenhá-lo, prejudicando assim, a aprendizagem de seu estudante;
- O seu professor, por não ter compreendido a sua própria infância e adolescência, não pode compreender e reconhecer as necessidades de seu estudante;



- Uma criança pode não aprender porque precisa de uma ajuda especial e seu professor e sua família não sabem disso.

O tratamento mais eficaz para o transtorno da Matemática é a intervenção educacional reparadora. Existem controvérsias quanto à eficácia comparativa dos vários tratamentos pedagógicos reparadores, mas o consenso atual é de que os métodos materiais de tratamento são úteis apenas quando se ajustam à criança em particular, ao subtipo de transtorno e à gravidade e praticabilidade dos planos de ensino em particular. Programas computadorizados podem ser úteis e aumentar a aderência aos esforços reparadores. As situações acima podem ser prevenidas com a detecção precoce do problema pelo professor, encaminhando os estudantes com DA para um profissional capacitado.

PERCURSO METODOLÓGICO DA INVESTIGAÇÃO

A pesquisa nasce da existência de uma dúvida, de um problema relativo à determinada área de estudo. Neste caso específico, o objeto de pesquisa são as possíveis causas das DA em Matemática de estudantes do EM de uma escola estadual do interior do RS. Para atingir o objetivo desta investigação, foi realizada uma pesquisa quanti-qualitativa, consistindo no levantamento quantitativo dos dados para posterior interpretação e análise da realidade, no que se refere aos motivos das DA na percepção de professores de Matemática. Nesse sentido, Dal-Farra e Lopes (2013, p. 71), referindo-se à contribuição dos métodos na pesquisa educacional, elucidam que:

[...] os estudos quantitativos e qualitativos possuem, separadamente, aplicações muito profícuas e limitações deveras conhecidas, por parte de quem os utiliza há longo tempo. Por esta razão, a construção de estudos com métodos mistos pode proporcionar pesquisas de relevância para a Educação com corpus organizado de conhecimento, desde que os pesquisadores saibam identificar com clareza as potencialidades e as limitações no momento de aplicar os métodos em questão.

O objeto desta pesquisa se encontra no próprio processo de ensino. Este processo acontece no interior de uma sociedade, sofrendo determinações sócio-históricas dela e do grupo social onde se localiza. O *lócus* da pesquisa é uma escola estadual do interior do RS, com aproximadamente 500 estudantes, distribuídos em turmas de anos finais do Ensino Fundamental (EF) e do EM. Ressalta-se que o EM é ofertado nos três turnos, sendo o único estabelecimento de ensino no município, com esse nível de ensino.

Com o intuito de diagnosticar possíveis causas das DA em Matemática no EM, realizou-se pesquisa com uma amostra composta pelos cinco professores de Matemática do EM dessa escola. Logo, a pesquisa tem aproximações com um estudo de caso, pois envolve uma análise



de um ou poucos objetos de maneira que se permita o seu amplo e detalhado conhecimento. Esse objeto pode ser um indivíduo, um grupo, uma organização, um conjunto de organizações, ou até mesmo, uma situação (GIL, 2017). Ainda de acordo com Yin (2015), o estudo de caso surge a partir de deduções e hipóteses construídas pelo autor, com o intuito de, inicialmente, verificar uma realidade específica, a partir do recolhimento de dados (quantitativos e qualitativos) para posterior análise.

Como instrumento para coleta de dados foi utilizado um questionário composto por quatro questões fechadas e oito abertas, totalizando 12 questões. O questionário impresso foi aplicado aos professores de Matemática do EM, no mês de outubro de 2019, no horário semanal de planejamento docente.

A amostra composta por cinco professores tem as seguintes características:

- 80% são do sexo feminino e 20% do sexo masculino. Esta diferença retrata uma realidade no magistério. A grande maioria dos professores da Educação Básica são mulheres.

- 40% trabalham até 40h semanais e 60% possuem mais de 40h semanais de trabalho. Este resultado também retrata o perfil dos membros do magistério. Muitos professores precisam trabalhar mais de 40h semanais, devido aos salários defasados, especialmente do magistério público estadual do RS. Esta realidade também reduz o tempo destinado ao planejamento das atividades de aula, o que pode comprometer a qualidade das aulas ministradas.

- 80% possuem contrato temporário e apenas 20% são professores efetivos no magistério. Outro dado que retrata uma realidade dos professores da rede estadual do RS.

- 20% dos professores pesquisados atuam menos de cinco anos no magistério, 60% dos docentes atuam de cinco até 10 anos e 20% dos professores trabalham no magistério há mais de 10 anos.

- 40% responderam que estão cursando um curso superior e 60% dos professores responderam que estão cursando uma especialização. Constata-se, então, que esses professores de Matemática estão buscando sua qualificação profissional.

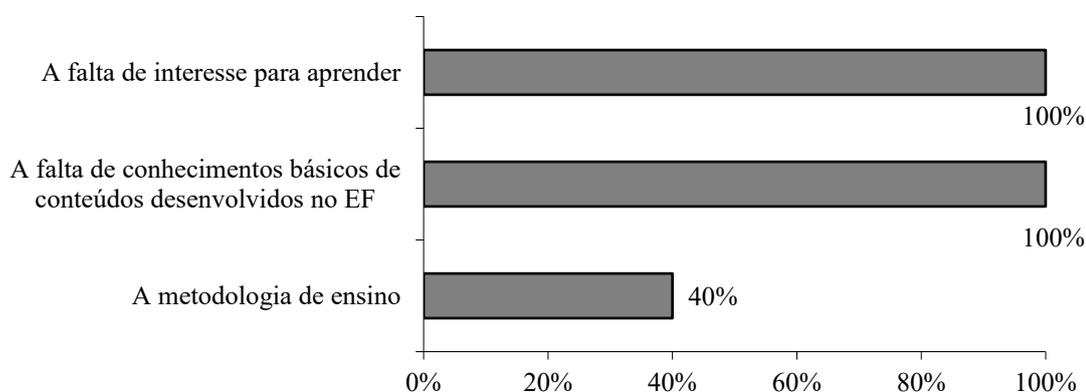
A partir da breve descrição do percurso metodológico e da amostra pesquisada, parte-se para apresentação e discussão dos dados coletados sobre as possíveis causas das DA em Matemática.

CAUSAS DAS DIFICULDADES DE APRENDIZAGEM EM MATEMÁTICA

Os professores responderam a sete questões relacionadas ao tema investigado. A primeira delas questionava se eles tinham estudantes com DA em Matemática. Os cinco professores responderam que possuíam estudantes com dificuldades, o que reflete a necessidade de investigar as DA em Matemática.

Com a questão seguinte, justamente, procurava-se identificar as principais causas das DA em Matemática, sendo que cada professor poderia apontar até três razões para as DA. E os resultados são apresentados no Gráfico 1:

Gráfico 1 – Causas das DA em Matemática apontadas pelos professores

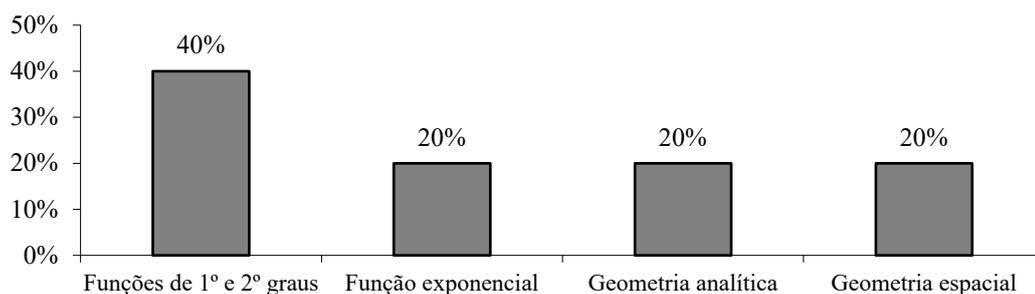


Fonte: Do autor.

Observa-se que 100% dos professores apontaram como principais causas das DA em Matemática a falta de interesse para aprender dos estudantes e a falta de conhecimentos básicos de conteúdos desenvolvidos no EF. Além disso, 40% apontaram a metodologia de ensino. Nenhum professor considerou como possíveis causas das dificuldades de aprendizagem, que os conteúdos trabalhados eram muito difíceis e os professores estavam mal capacitados. Analisando esses resultados, pode-se afirmar que essas causas das DA em Matemática estão vinculadas à escola, aos professores e aos próprios estudantes, conforme já apontado nos estudos realizados por Garcia (1998).

Questionados sobre qual conteúdo de Matemática do EM que seus estudantes apresentavam mais DA, os professores responderam o que está representado no Gráfico 2:

Gráfico 2 - Conteúdos de Matemática do EM que os estudantes apresentam mais DA

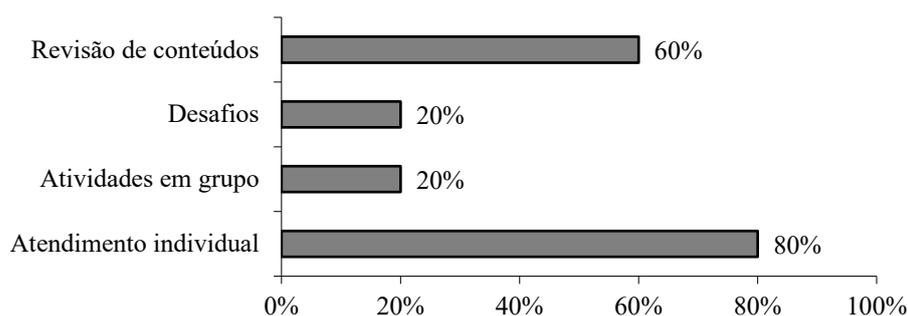


Fonte: Do autor.

De acordo com o Gráfico 2, verifica-se que 40% dos professores citaram as funções de 1º e 2º graus, 20% dos professores apontaram as funções exponenciais, 20% destacaram a geometria analítica e 20% dos professores apontaram a geometria espacial. Segundo os professores de Matemática, os estudantes do EM possuem mais DA em conteúdos que envolvem a resolução de problemas e a álgebra, os quais exigem maior capacidade de interpretação e de abstração. “No Ensino Médio, na área de Matemática e suas Tecnologias, os estudantes devem consolidar os conhecimentos desenvolvidos na etapa anterior e agregar novos, ampliando o leque de recursos para resolver problemas mais complexos, que exijam maior reflexão e abstração” (BRASIL, 2018, p. 471).

A próxima questão indagava os professores sobre as estratégias usadas para superar as DA em Matemática de seus estudantes. As respostas dadas estão representadas no Gráfico 3:

Gráfico 3 - Estratégias utilizadas com os estudantes que apresentam DA em Matemática

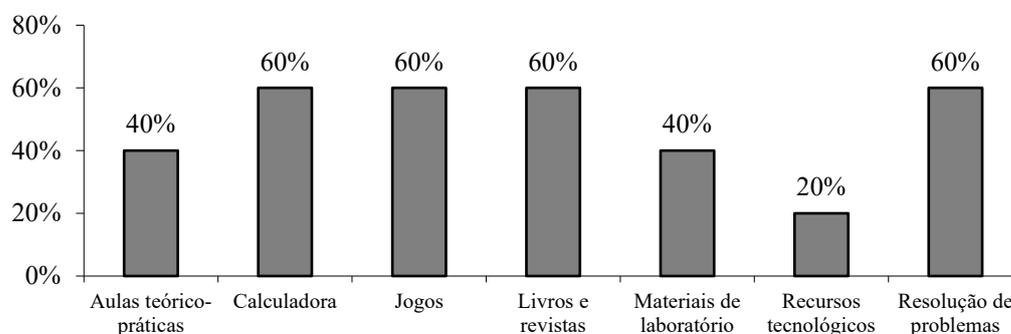


Fonte: Do autor.

Como estratégias para superar as DA em Matemática, 80% dos professores afirmaram que fazem atendimento individual dos estudantes com dificuldades durante as aulas, 60% responderam que procuram fazer revisão de conteúdos, sendo que 20% realizam atividades em grupo e 20% propõem desafios matemáticos como estratégia para superar as DA. Ressalta-se a importância do olhar atento do professor para os estudantes com dificuldades em Matemática,

bem como, sua ação imediata para a implementação de estratégias que superem as DA. Nesse sentido, cabe também a utilização de recursos didáticos variados nas aulas de Matemática, o que foi questionado aos professores, conforme ilustrado no Gráfico 4:

Gráfico 4 - Recursos utilizados pelos professores em suas aulas de Matemática no EM



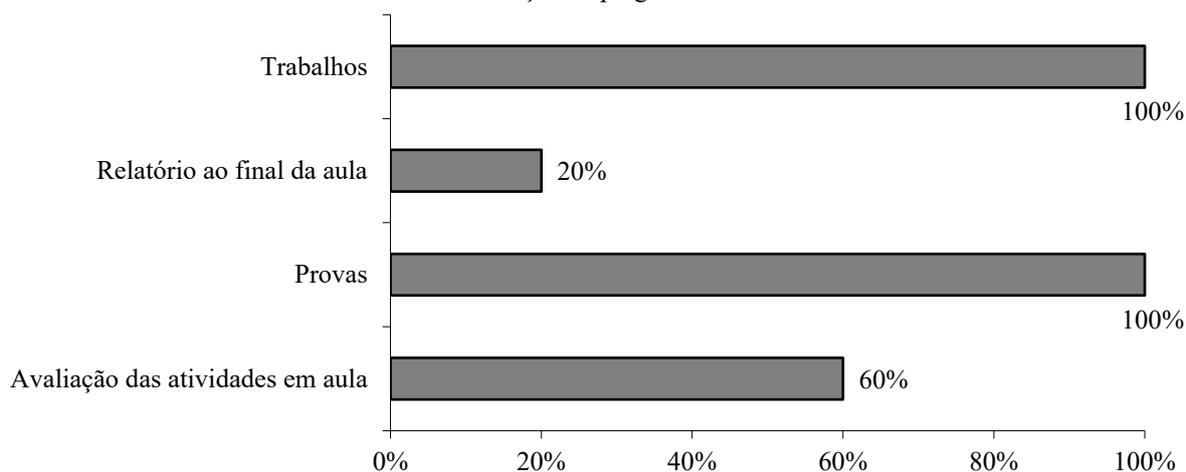
Fonte: Do autor.

Com relação aos recursos didáticos usados pelos professores em suas aulas de Matemática no EM, as respostas foram bem variadas: 60% dos pesquisados afirmaram que utilizam a resolução de problemas, os jogos, os livros e revistas e a calculadora como recursos didáticos; 40% empregam aulas teórico-práticas e materiais de laboratório, enquanto que apenas 20% dos professores usam recursos tecnológicos em suas aulas de Matemática. Ressalta-se que o material didático desenvolvido e utilizado nas aulas de Matemática deve ser potencialmente significativo para que o estudante tenha condições de aprender de forma significativa (MOREIRA, 1999).

Na penúltima questão, os professores foram questionados se trabalhavam os conteúdos matemáticos de forma interdisciplinar. Dos cinco respondentes, 60% responderam que trabalham os conteúdos matemáticos de forma interdisciplinar, enquanto que 40% afirmaram não trabalhar de forma interdisciplinar. Os professores responderam que trabalhavam de forma interdisciplinar através de exercícios relacionados com a vida do estudante e com a resolução de problemas relacionados com outras disciplinas.

O Gráfico 5 mostra as respostas dos professores para a última questão da pesquisa, uma pergunta aberta sobre os instrumentos de avaliação empregados na disciplina de Matemática:

Gráfico 5 - Instrumentos de avaliação empregados nas aulas de Matemática no EM



Fonte: Do autor.

Com relação aos instrumentos de avaliação utilizados nas aulas de Matemática no EM, 100% dos professores responderam que fazem provas e trabalhos, 60% fazem avaliação das atividades desenvolvidas em aula e 20% usufruem de um relatório feito pelos estudantes ao final da aula. Os atuais processos de avaliação, independentemente de algumas melhorias, são ainda obstáculos ao desenvolvimento da educação. Abolindo o insucesso do sistema educacional, encorajar-se-ia a aprendizagem e a realização psicossocial dos estudantes. Quanto mais cedo se identificarem os problemas de aprendizagem, melhor, na medida em que se pode mobilizar a intervenção para superá-los.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao se estabelecer um conjunto de diretrizes para a reorganização curricular do EM no Brasil, por meio da BNCC, pretende-se contemplar a necessidade de sua adequação para o desenvolvimento e promoção dos estudantes, com diferentes motivações, interesses e capacidades, criando condições para sua inserção num mundo em mudança e contribuindo para desenvolver habilidades e competências que deles serão exigidas em sua vida social e profissional.

A Matemática no EM tem um valor formativo, que ajuda a estruturar o pensamento e o raciocínio dedutivo, porém, também, desempenha um papel instrumental, pois é uma ferramenta que serve para a vida cotidiana e para muitas tarefas específicas em quase todas as atividades humanas. A essas concepções se junta a ideia de que, no EF, os estudantes deveriam ter se aproximado de vários campos do conhecimento matemático e, agora, estariam em condições de utilizá-los e ampliá-los e desenvolver capacidades de abstração, raciocínio,



resolução de problemas, investigação, análise e compreensão de fatos matemáticos e de interpretação da própria realidade.

Não basta rever a metodologia de ensino se for mantido o conhecimento matemático restrito à informação, com as definições e os exemplos, assim como os exercícios de aplicação ou fixação. Pois se os conceitos são apresentados de forma fragmentada, mesmo que sejam completos e aprofundados, nada garante que o estudante estabeleça alguma significação para as ideias isoladas e desconectadas umas das outras. Nesse sentido, a proposição de situações problemas contextualizadas e integrando os diferentes campos da Matemática visa retirar o estudante da condição de espectador passivo, estabelecendo relação entre o que ele aprende na escola e a sua vida.

O aprendizado matemático é parte essencial na formação de cidadãos em sentido universal e não apenas no sentido profissionalizante. É um aprendizado útil à vida e ao trabalho. A sociedade espera que a Matemática assuma o papel de estar ao alcance dos estudantes e tornar-se prática em suas vidas, ajudando-os em suas relações com o meio em que vivem e fazendo sincronia com as demais áreas do conhecimento.

Buscando-se identificar possíveis causas das DA em Matemática no EM, constatou-se que as razões do fracasso são oriundas tanto de fatores intra como extra-escolares. Destacam-se a falta de interesse dos estudantes para aprender, a falta de conhecimentos básicos de conteúdos desenvolvidos no EF e a metodologia de ensino, como as principais razões para as DA em Matemática.

As pesquisas na área da Educação Matemática indicam que, para que o estudante aprenda Matemática com significado, é fundamental trabalhar as ideias, os conceitos matemáticos intuitivamente, antes da simbologia, antes da linguagem matemática. O estudante também deve aprender por compreensão. Ele deve saber o porquê das coisas, e não, simplesmente, mecanizar procedimentos e regras. Nesse ponto é interessante mostrar como o conhecimento matemático foi construído historicamente.

Os estudantes deveriam ser estimulados para que pensem, raciocinem, criem, relacionem ideias, descubram e tenham autonomia de pensamento. Em lugar de simplesmente imitarem, repetirem e seguirem o que o professor fez, os próprios estudantes podem e devem fazer Matemática, descobrindo ou redescobrando por si só uma ideia, uma propriedade, uma maneira diferente de resolver um problema. Para que isto ocorra, é preciso que o professor crie oportunidades e condições para os estudantes descobrirem e expressarem suas descobertas, com



recursos didáticos variados, como a resolução de problemas, atividades investigativas e a modelagem, com e/ou sem a mediação de recursos tecnológicos.

O conteúdo trabalhado na escola deve ser significativo, o estudante precisa sentir que é importante saber aquilo para a sua vida ou que lhe será útil para entender o mundo em que vive. Considerando ainda a prática em sala de aula, nós educadores, precisamos valorizar a experiência acumulada pelo estudante fora da escola. É preciso lembrar que, quando o estudante chega ao EM, já viveu intensamente até os seus 14 ou 15 anos de idade. A partir dessa vivência, o professor deve iniciar o trabalho de construir e aplicar novos conceitos matemáticos, dando continuidade ao que o estudante já aprendeu no EF e na vida.

Além disso, o professor deveria considerar mais o processo do que o produto da aprendizagem, ou seja, o aprender a aprender mais do que os resultados prontos e acabados. É muito mais importante valorizar a maneira como o estudante resolve um problema, especialmente se ele fez de uma maneira autônoma, original, em vez de simplesmente verificar se acertou a resposta. É avaliar o todo e não apenas o resultado final.

A avaliação praticada como um diagnóstico contínuo possibilita a reformulação de procedimentos e estratégias, visando ao sucesso efetivo do estudante. Avaliam-se os erros para identificar os problemas e os avanços e redimensionar a ação educativa. Muito se aprende por tentativas e erros. Por isso, os erros cometidos pelo estudante devem ser vistos naturalmente como parte dos processos de ensino e de aprendizagem e é possível usá-los para promover uma aprendizagem mais significativa. Para isso, é fundamental que o professor analise o tipo de erro cometido pelo estudante. Assim, poderá perceber quais foram as dificuldades apresentadas e reorientar sua ação pedagógica com mais eficácia para saná-las. O ato de mostrar ao estudante onde, como e por que ele cometeu o erro ajuda-o a superar lacunas de aprendizagem e equívocos de entendimento.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília: MEC/SEB, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/#/site/inicio>. Acesso em: 15 set. 2021.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretária de Educação Básica. Diretoria de Currículos e Educação Integral. *Diretrizes Curriculares Nacionais Gerais da Educação Básica*. Brasília: MEC, SEB, DICEI, 2013. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/docman/julho-2013-pdf/13677-diretrizes-educacao-basica-2013-pdf/file>. Acesso em: 15 set. 2021.



DAL-FARRA, Rossano André Paulo; LOPES, Tadeu Campos. Métodos Mistos de Pesquisa em Educação: pressupostos teóricos. *Nuances: estudos sobre Educação*, Presidente Prudente, SP, v. 24, n. 3, p. 67-80, set./dez. 2013. Disponível em: <http://revista.fct.unesp.br/index.php/Nuances/article/view/2698>. Acesso em: 5 out. 2021.

DANTE, Luiz Roberto. *Matemática contexto e aplicações*: manual do professor, ensino médio. São Paulo: Ática, 2002.

FONSECA, Vítor da. *Introdução às dificuldades de aprendizagem*. 2. ed. Porto Alegre: Artes Médicas, 1995.

GARCÍA, Jesus Nicasio. *Manual de dificuldades de aprendizagem*: linguagem, leitura, escrita e matemática. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.

GIL, Antônio Carlos. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GOWIN, D. Bob. *Educating*. Ithaca, N. Y.: Cornell University Press, 1981.

HUETE, Juan Carlos Sánchez; BRAVO, José A. Fernández. *O Ensino da Matemática*: fundamentos teóricos e bases psicopedagógicas. Porto Alegre: Artes Médicas, 2006.

MOREIRA, Marco Antônio. O que é afinal aprendizagem significativa? *Qurriculum*, La Laguna, Espanha, n. 25, p. 1-27, 2012. Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br/oqueeafinal.pdf>. Acesso em: 13 out. 2021.

_____. *Teorias de Aprendizagem*. São Paulo, EPU, 1999.

O'BRIEN, Thomas. Abaixo a matemática do papagaio. *Nova Escola*, São Paulo, v. 15, n. 134, p. 12-14, ago. 2000.

YIN, Robert K. *Estudo de Caso*: Planejamento e métodos. Porto Alegre: Bookman, 2015.



CAPÍTULO 2

ZONEAMENTO EDAFOCLIMÁTICO DO CAJU PARA O ESTADO DE GOIÁS

André Luiz Ribas de Oliveira
Vandervilson Alves Carneiro
João Carlos Mohn Nogueira
Sandra Máscimo da Costa e Silva
Cassia Monalisa dos Santos Silva
Renata Gonçalves Lacerda Oliveira

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo zonestar áreas aptas ao cultivo do caju. Foram utilizados neste estudo os programas SPRING, Simula e Bipzon para realizar o zoneamento edafoclimático. Os períodos simulados foram 2º, 4º e 6º quinquênios dos meses de maio, junho e julho. Utilizou-se o ISNA, em duas capacidades diferentes de armazenamento de água no solo, para gerar os mapas e delimitar as áreas produtivas. A cultura do caju apresenta períodos de semeadura, favorecidos pela reserva de água no solo, sendo importante a irrigação suplementar, considerando aumentos na produtividade.

PALAVRAS-CHAVE: ISNA. *Anacardium occidentale* L. Reserva de água.

INTRODUÇÃO

No Brasil o cajueiro é encontrado em quase todos os Estados da Federação, sendo que a Região Nordeste é responsável pela quase totalidade da produção nacional. Assim, a expressão econômica da cultura restringe-se somente ao Nordeste, destacando-se os Estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, responsáveis por 93% da produção, sendo o Ceará o maior produtor. Nas exportações, a castanha desponta como um dos principais produtos.

Existem, no entanto, muitos problemas no cultivo de caju. As baixas produtividades, o ataque de pragas e doenças, a irregularidade nas precipitações pluviométricas, além da falta de uniformidade de plantio, têm reflexos negativos sobre a qualidade do produto (amêndoa e pseudofruto).

Segundo FAO (2002) o Brasil é o maior produtor mundial de caju, tendo produzido 1,55 milhões de toneladas de pseudofruto no ano de 2001. Em segundo lugar aparece Madagascar, com 68 mil toneladas. Estes dois países são os únicos presentes na relação da FAO.

Segundo FAO (2002), o Brasil é o terceiro maior produtor mundial de castanha de caju, responsável por 12,26% da produção do ano de 2001, com pouco mais de 180 mil toneladas. Em primeiro lugar encontra-se a Índia (34,00%), seguida pela Nigéria (12,51%).



O cajueiro necessita de uma estação seca para frutificar normalmente, pois a diferenciação floral ocorre quase sempre no final da estação chuvosa e o florescimento se processa durante os meses secos (BARROS et al., 1984).

Com base em estudos de fenologia e análise dos regimes pluviométricos das principais regiões produtoras do mundo, inclusive a região de origem, considera-se a faixa de 800 a 1.500 mm anuais, distribuídos em 5 a 7 meses, como a mais adequada ao seu cultivo (BARROS et al., 1984).

Segundo SILVA (1997), a utilização do balanço hídrico para a definição de épocas de plantio/semeadura pode contribuir para a redução de riscos climáticos, evitando períodos de déficit hídrico nas fases críticas da cultura. Com auxílio de programas computacionais, pode-se obter resultados mais rápidos e precisos, permitindo avaliar a produção de biomassa e rendimento de grãos.

O regime pluviométrico do Estado de Goiás e Distrito Federal é distribuído em duas fases distintas: o período de seca e o de chuva (NIMER, 1979, CASTRO et al. 1994, ASSAD et al., 1994). O período chuvoso vai de outubro a março, correspondendo de 80 a 90% da precipitação de toda chuva (ASSAD et al. 1994). A região norte e nordeste do Estado apresentam precipitação de 1200 mm a 1400 mm anuais, ampliando em gradiente no sentido Leste-Oeste do Estado, apresentando faixa de 2400 mm a 2600 mm anuais na região de Piracanjuba (LOBATO et al. 2002)

Estresse hídrico na fase de alongamento impede alguns perfilhos de produzir espigas, embora isso não represente uma perda total de rendimento, pois, antes da senescência, todos os assimilados são transportados para os perfilhos férteis. O estresse durante toda a fase de perfilhamento tem efeito negativo na produção de perfilhos, na massa seca da parte aérea e no número de espigas por planta, mas não na estatura das plantas (TERUEL & SMIDERLE, 1999).

Diversos trabalhos, em particular no Brasil, propõem métodos e critérios variados para avaliar a aptidão agrícola de plantas variadas e relacionam os parâmetros climáticos com a produtividade agrícola em escala regional.

Segundo TERAMOTO (2003), toda cultura agrícola é influenciada por um grande número de fatores ambientais, sendo alguns deles não passíveis de manejo, como o clima, enquanto outros como o solo e a disponibilidade de água, podem ser manejados para permitir o melhor desempenho da cultura. Nesse sentido, a busca por altos rendimentos a baixos custos



de produção implica em conhecer detalhadamente o ambiente no qual a cultura está implantada, com o objetivo de racionalizar as relações entre os diferentes fatores de produção.

Nos últimos anos, com a necessidade de melhorar a produtividade, mantendo-se a qualidade das culturas, surge uma ferramenta de trabalho extremamente útil, o zoneamento edafoclimático, para regiões como o Estado de Goiás e o Distrito Federal, que permite mapear, concomitantemente, características de solo, do relevo, da fertilidade, do clima e pluviosidade.

Assim, o zoneamento edafoclimático constitui-se em uma ferramenta de organização no planejamento da agricultura, tendo por base o levantamento dos fatores que definem as aptidões agrícolas fundamentadas, sobretudo nos atributos dos solos, topografia, declives e clima encontrado em diferentes áreas das regiões estudadas. Quando se têm delimitadas as condições edafoclimáticas de uma região, podem-se definir regiões climaticamente homogêneas e assim estabelecer o cultivo a ser implantado na área pesquisada.

Durante a realização do zoneamento agroclimático, PEREIRA et al. (2002) comentam acerca da necessidade da confecção dos mapas levando em consideração as cartas climáticas básicas e o conhecimento das exigências da cultura a ser zoneada, definindo-se as áreas:

- a) aptas, sem restrições térmicas ou hídricas;
- b) inaptas, sem atendimento das exigências térmicas ou hídricas;
- c) marginais, em que as restrições não são totalmente limitantes ao cultivo.

O zoneamento edafoclimático é mais rápido e facilitado quando se utiliza Sistemas de Informações Geográficas (SIG), que permitem cruzamentos de dados que auxiliam a definir e delimitar áreas propícias ao cultivo, com a utilização de procedimentos simples, tais como o balanço hídrico, declives, tipos de solos e outros.

A utilização do zoneamento edafoclimático tem proporcionado a redução de riscos climáticos para culturas, retorno de capitais aplicados em operações de crédito agrícola, e diminuição da perda das culturas principalmente dos cereais.

O presente trabalho teve por objetivo a elaboração do zoneamento edafoclimático para a cultura do caju visando definir áreas potenciais cultiváveis, melhor época de plantio, produtividade relativa em função do ISNA. Sendo realizadas nove simulações do balanço hídrico em diferentes datas de plantio: 2º, 4º e 6º quinquídios do mês de maio, junho e julho (6 a 10, 16 a 20 e 26 a 30), a variável solo foi levado em consideração, pois a mesma é importante para realização de zoneamento adequado e servindo para definir o melhor período de plantio.

METODOLOGIA

O zoneamento edafoclimático para a cultura do caju foi realizado utilizando os programas Bipzon®, Simula® balanço hídrico e SPRING® 4.3. Conforme metodologia utilizada por ANDRADEJÚNIOR et al. (2001); BRUNINI et al. (2001); CUNHA & ASSAD (2001); CUNHA et al. (2001); MALUF et al. (2001a); MALUF et al. (2001b); MORAES et al. (2010); MORAES et al. (2012); MORAES et al. (2015); MORAES et al. (2016); OLIVEIRA, 2006; OLIVEIRA et al. (2010a); OLIVEIRA et al. (2010b); OLIVEIRA et al. (2010c); OLIVEIRA et al. (2012); OLIVEIRA et al. (2016); SANS et al. (2001); SILVA & ASSAD (1998) onde os parâmetros avaliados foram o ISNA e duas reservas de água no solo para o balanço hídrico. Este balanço hídrico, gerador dos índices ISNA, de probabilidade de ocorrência de 80%, permitiu a geração dos mapas temáticos de balanço hídrico, sendo estes georeferenciados para o Estado de Goiás e o Distrito Federal, como especificado a seguir.

Balanço hídrico

Para realização do balanço hídrico foram utilizadas as séries diárias de dados pluviométricos de chuva de 161 estações pluviométricas com 15 anos de observações, fornecidos pelo antigo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE). As estações empregadas são referentes ao Estado de Goiás e ao Distrito Federal. O cálculo do balanço hídrico foi realizado para períodos quinquênios, utilizando o programa Bipzon®. As nove simulações de plantio foram 2º; 4º e 6º quinquênios dos meses de maio, junho e julho, e escolhido três momentos mais representativos.

O conhecimento da evapotranspiração de referência (ET_o) é básico para a estimativa da evapotranspiração da cultura (ET_{pc}). Para a estimativa de ET_o existem vários métodos, cuja escolha é função principalmente da quantidade de informações meteorológicas disponíveis (SILVA, 1997). HARGREAVES (1974) desenvolveu uma fórmula para estimativa da evapotranspiração de referência, enfatizando a simplicidade e o uso do mínimo de variáveis meteorológicas, a qual foi implementada nos programas Bipzon e Simula.

Em seguida, com o auxílio do programa SPRING®(2003) e do banco de dados obtido, foi digitalizado e gerado os mapas no Estado de Goiás.

Evapotranspiração potencial da cultura foi calculada conforme equação abaixo:

$$ET_{pc} = ET_o \cdot K_c$$

em que,

ET_{pc} = evapotranspiração potencial da cultura, em $mm.d^{-1}$ e

K_c = coeficiente de cultura (DOREMBOS & KASSAM, 1979)

A evapotranspiração real (ET_r) foi estimada pela equação de terceiro grau, proposta por EAGLEMAN (1971), que descreve a evolução da evapotranspiração real (ET_r) em função da evapotranspiração potencial da cultura (ET_{pc}) e umidade do solo (UR), expressa por:

$$ET_r = A + (B.UR) - (C.UR^2) + (D.UR^3)$$

em que,

$$A = 0,732 - 0,05ET_{pc}$$

$$B = 4,97ET_{pc} - 0,66ET_{pc}^2$$

$$C = 8,57ET_{pc} - 1,56ET_{pc}^2$$

$$D = 4,35ET_{pc} - 0,88ET_{pc}^2$$

Nas simulações do balanço hídrico, neste trabalho foi considerado a variável solo. Para o cultivo do caju consideramos os tipos de solos em referência as suas respectivas capacidade de armazenamento de água sendo agrupados de duas maneiras como se segue:

–Tipo 1: solos com média capacidade de armazenamento de água (50 mm), no qual se enquadra os Latossolos com teor de argila < 35%;

–Tipo 2: solos com alta capacidade de armazenamento de água (75 mm), no qual se enquadra os Argissolos, Cambissolos e Latossolos com teor de argila > 35%.

GERAÇÃO DOS MAPAS TEMÁTICOS DE RISCO EDAFOCLIMÁTICO

A relação ET_r/ET_{pc} expressa a quantidade de água que a planta consome (ET_r) e aquela desejável para garantir a sua máxima produtividade (ET_{pc}). A razão ET_r/ET_{pc} é conhecido como ISNA (índice de satisfação da necessidade de água) que expressa a percentagem de água disponível às plantas.

Os valores do ISNA para o caju foram obtidos, pela geração destes, utilizando o Bipzon® e o Simula® considerando as diferentes datas de plantio. Determinado pelas relações ET_r/ET_{pc} para cada cultura, efetuando uma análise freqüencial com a probabilidade de ocorrência das chuvas de 80%, conforme recomendado por BERNARDO et al. (2006).

Para a realização do zoneamento edafoclimático foram delimitados três classes de aptidões climáticas conforme recomendação de SILVA (1997):

- 
- ✓ Para $ISNA \geq 0,60$, a cultura está exposta a um baixo risco climático;
 - ✓ Para valores $0,60 > ISNA > 0,50$, a cultura está exposta a um risco climático médio;
 - ✓ Para $ISNA \leq 0,50$, a cultura está exposta a um alto risco climático.

Com os valores dos ISNA foi criado um banco de dados com as respectivas coordenadas geográficas e valores de ISNA, com a utilização do programa SPRING (SIG), foi gerado os mapas temáticos de riscos climáticos:

- ✓ Digitação de arquivos ASCII (ISNA);
- ✓ Importação do arquivo ASCII;
- ✓ Geração da grade de pontos;
- ✓ Fatiamento das classes de risco climático;
- ✓ Delimitação para Goiás e Distrito Federal;
- ✓ Correlação com os mapas de solos;
- ✓ Associação das classes aos polígonos;
- ✓ Edição vetorial;
- ✓ Confecção dos mapas temáticos;
- ✓ Impressão dos mapas.

Foram confeccionados os mapas temáticos de riscos climáticos, para cada uma das capacidades de armazenamento (reserva) de água no solo para a cultura do caju depois de ajustados os valores das interpolações, definidos pelas classes de aptidão climática.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram gerados nove mapas temáticos para cada tipo de solo e destes escolhemos três que melhor definem a aptidão climática para a cultura do caju.

Em áreas de Latossolos Vermelho-Amarelos em que a capacidade de armazenamento de água é de 50 mm temos que todo mês de maio é inadequado ao plantio de caju para todo o Estado de Goiás.

A partir de 6-10 de junho, figura 01, grande parte da região norte e pequenas partes da região sudeste e centro-oeste do estado não deve realizar o plantio.

Sendo que no período de 16-20 de junho, figura 02, o estado apresenta médio risco climático, com 12 regiões que não deve realizar o plantio.

No período de 6-10 de julho, figura 03, pode plantar em todo o Estado de Goiás e DF.

Figura 01: Risco climático para o caju com plantio entre 6-10 de junho para a reserva no solo de 50 mm.

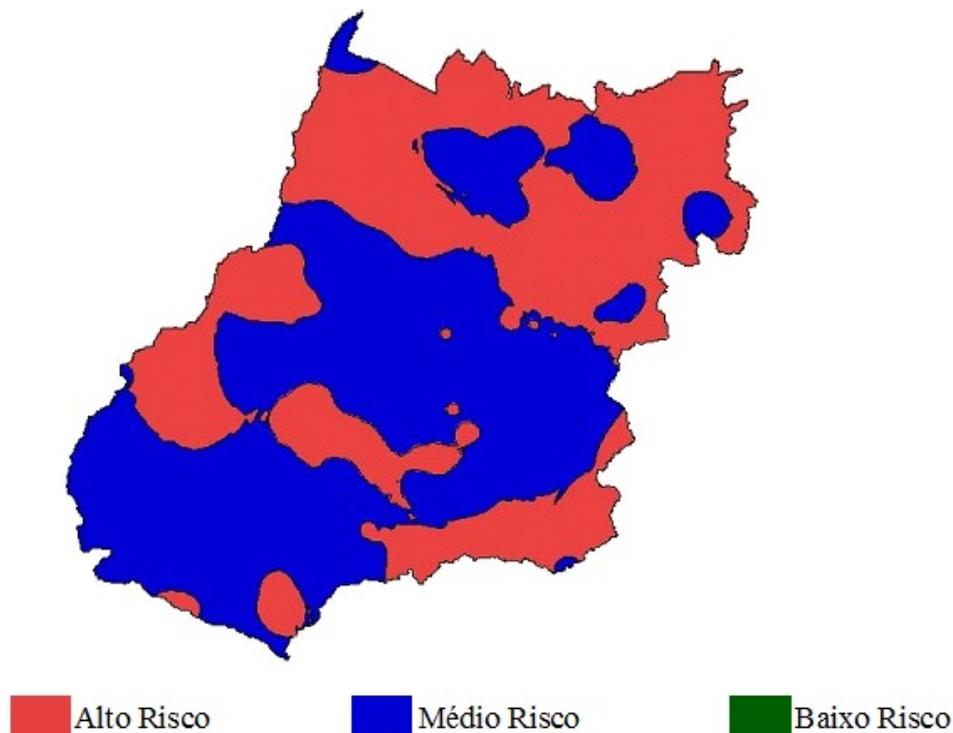
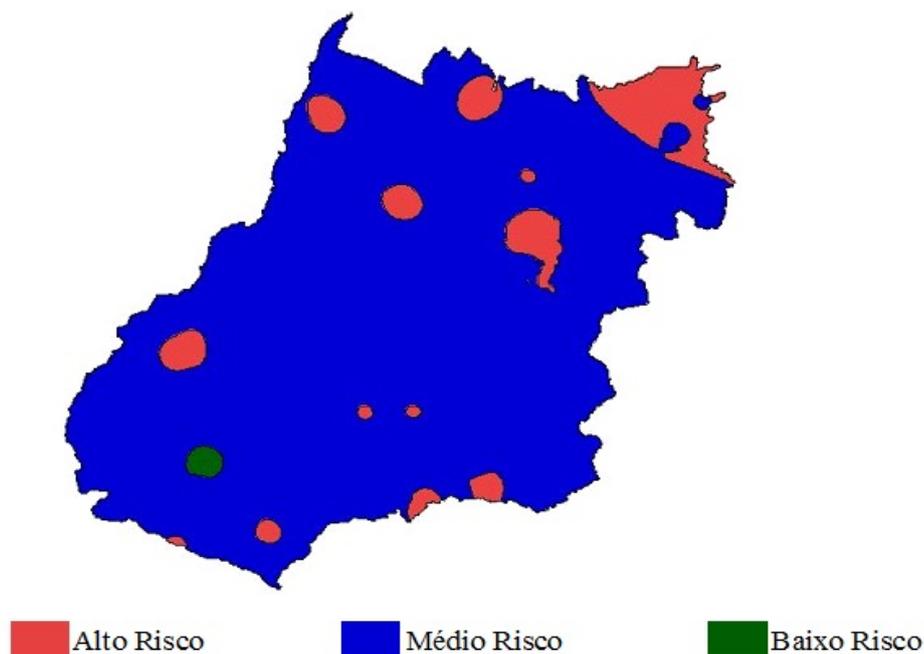
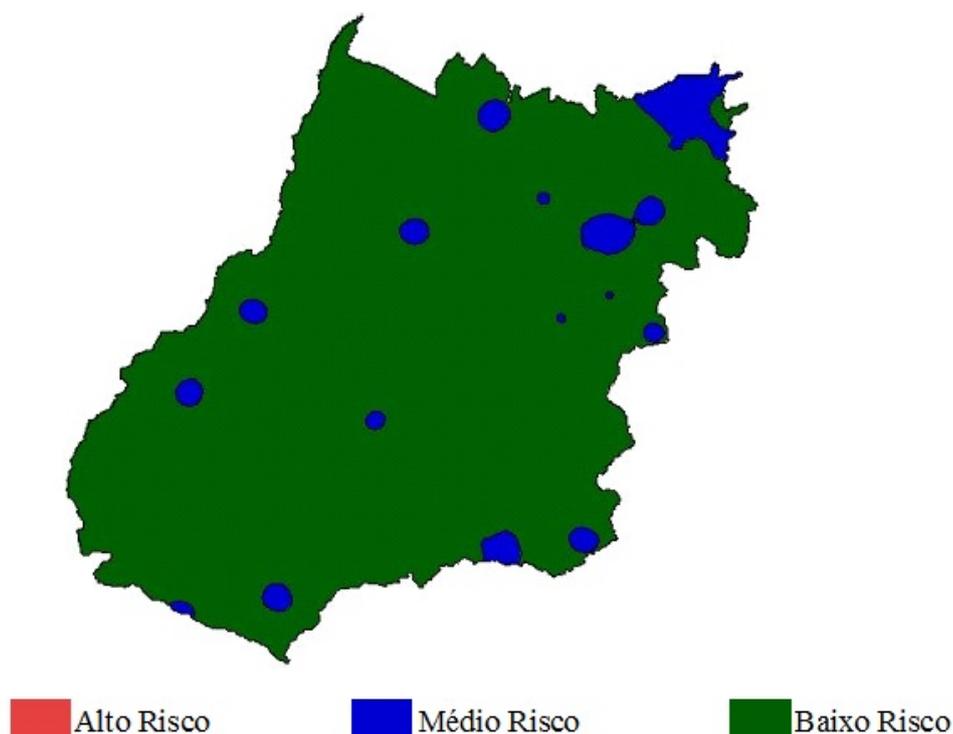


Figura 02: Risco climático para o caju com plantio entre 16-20 de junho para a reserva no solo de 50 mm.



Fonte: Autores 2021.

Figura 03: Risco climático para o caju com plantio entre 6-10 de julho para a reserva no solo de 50 mm.



Fonte: Autores 2021.

Quanto às áreas de Latossolos Vermelhos, Cambissolos e Argissolos em que a capacidade de armazenamento de água é de 75 mm, tem-se as figuras 04 à 06 que melhor descrevem as 09 simulações.

A figura 04 apresenta o plantio para a cultura do caju a partir de 26-30 de maio em que cerca de dez pequenas áreas tem alto risco climático para o plantio não devendo serem utilizadas.

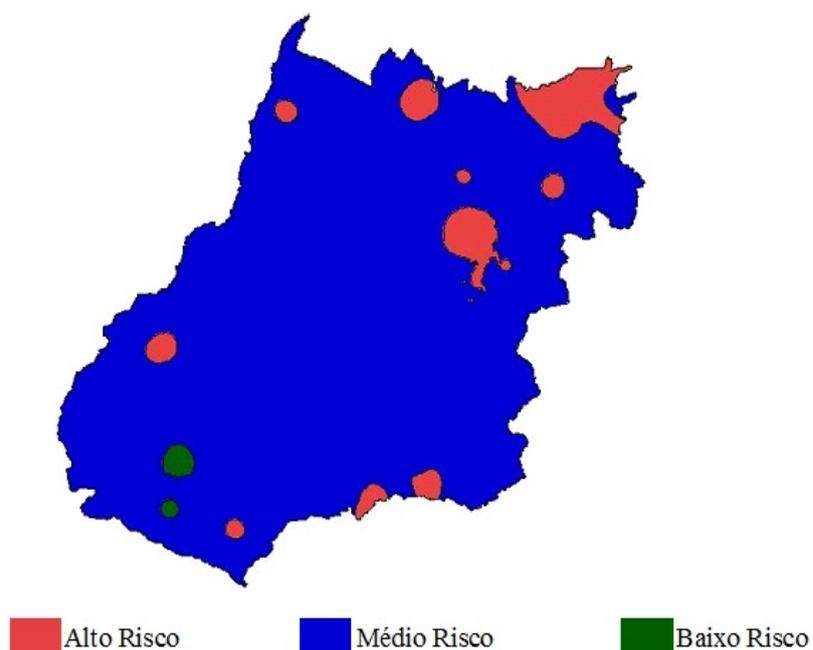
Para o período de 06-10 de junho todo o Estado de Goiás e o DF apresentam médio a baixo risco climático para o plantio do caju, conforme a figura 05.

Quanto ao período de 26-30 de junho a cultura do caju pode ser plantada em praticamente todo Estado de Goiás e o Distrito Federal, isso é possível devido ao baixo risco climático a implantação da cultura. Sendo que podemos observar este comportamento conforme a figura 06.

Os agricultores em Goiás e Distrito Federal devem evitar o plantio no mês de maio, em solos com capacidade de reserva de 50 mm enquanto a partir do 6º quinquídio do mês de maio pode ser utilizado para solos com capacidade de reserva de 75mm.

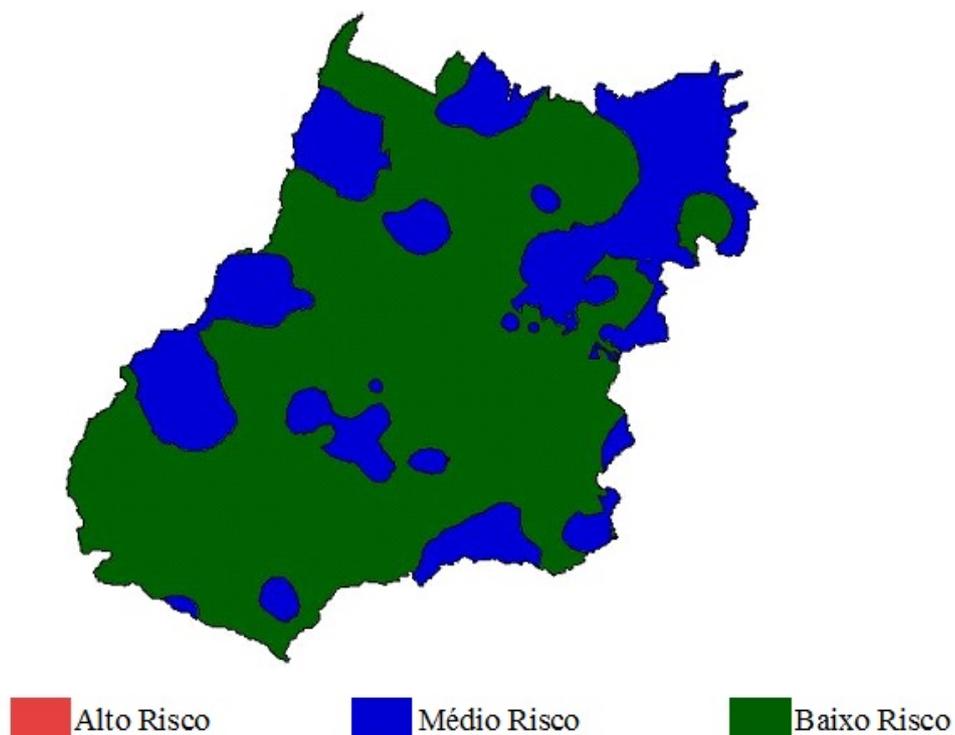
Para regiões em que o produtor rural quiser lançar mão de reposição hídrica, pode-se realizar o plantio, porém deve-se levar em consideração os custos.

Figura 04: Risco climático para o caju com plantio entre 26-30 de maio para a reserva no solo de 75 mm.



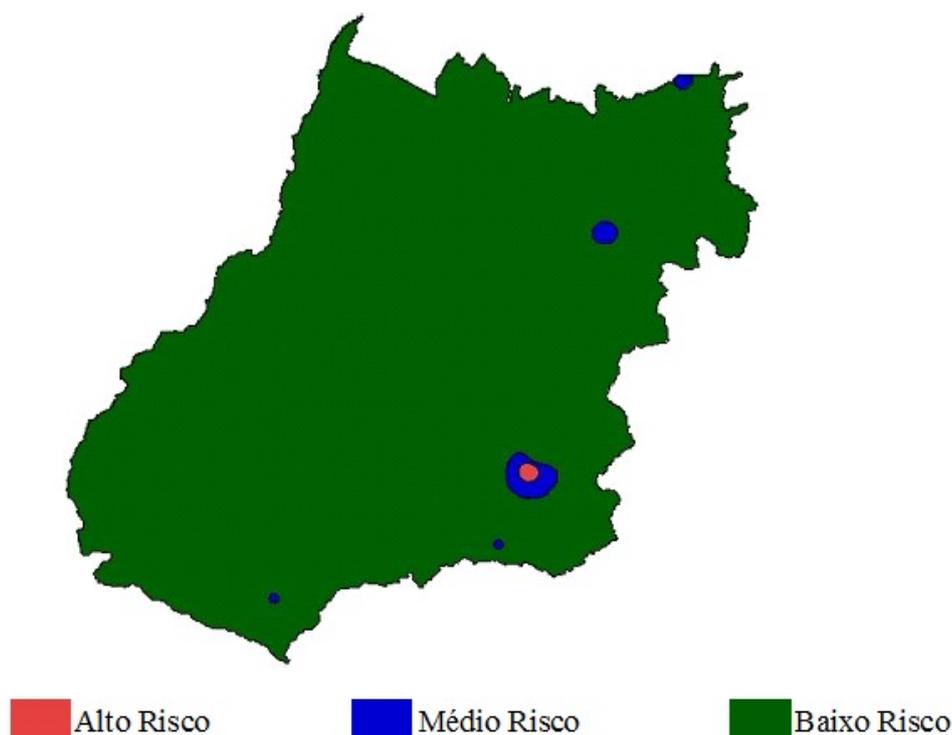
Fonte: Autores 2021.

Figura 05: Risco climático para o caju com plantio entre 6-10 de junho para a reserva no solo de 75 mm.



Fonte: Autores 2021.

Figura 06: Risco climático para o caju com plantio entre 26-30 de junho para a reserva no solo de 75 mm.



Fonte: Autores 2021.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que na prática o produtor rural está realizando o plantio da cultura do caju de forma adequada. Com os mapas verificamos a necessidade real de suplementação de água (irrigação de cobertura) para o plantio no mês de maio em solos de reserva de água de 50 mm.

Enquanto que em solos de reserva de água no valor de 75 mm não necessita desta irrigação suplementar, no mês de junho e julho.

Observamos assim a importância da reserva de água no solo.

O uso do Sistema de Informações Geográficas com o cálculo do balanço hídrico foram as ferramentas necessárias e fundamentais para finalizar do referido trabalho, desta forma o ganho financeiro é expressivo e incalculável.

REFERÊNCIAS

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SENTELHAS, P. C.; LIMA, M. G.; AGUIAR, M. J. N.; LEITE, D. A. S. R. Zoneamento agroclimático para as culturas de milho e de soja no estado do Piauí. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, 2001. v.9 n.3, p. 544-550



ASSAD, E. D.; SANO, E. E.; MASUTOMO, R.; CASTRO, L. H. R.; SILVA, F. A. M. Veranicos na região dos cerrados brasileiros: frequência e probabilidade de ocorrência. In: ASSAD, E. D. **Chuva nos cerrados: análise e espacialização**. Brasília: Embrapa – CPAC: Embrapa – SPI, p. 43-48, 1994.

BARROS, L. M.; ARAÚJO, F. E.; ALMEIDA, J. I. L. de; TEIXEIRA, L. M. S. **A cultura do cajueiro anão**. Fortaleza, 1984. 67 p. (EPACE – Documento 3).

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. Viçosa: UFV, 2006. 625p.

BRUNINI, O.; ZULLO JÚNIOR, J.; PINTO, H. S.; ASSAD, E.; SAWAZAKI, E.; DUARTE, A. P.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z. Riscos climáticos para a cultura de milho no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, 2001. v.9 n.3, p. 519-526

CASTRO, L. H. R.; MOREIRA, A. M.; ASSAD, E. D. Definição e regionalização dos padrões pluviométricos dos cerrados brasileiros. In: ASSAD, E. D. **Chuva nos cerrados: análise e espacialização**. Brasília: Embrapa – CPAC: Embrapa – SPI, p. 13-23, 1994.

CUNHA, G. R.; ASSAD, E. D. Uma visão geral do número especial da RBA sobre o zoneamento agrícola no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, 2001. v.9 n.3, Santa Maria p 377-385

CUNHA, G. R.; BARNI, N. A.; HAAS, J. C.; MALUF, J. R. T.; MATZENAUER, R.; PASINATO, A.; PIMENTEL, M. B. M.; PIRES, J. L. F. Zoneamento agrícola e época de semeadura para soja no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, 2001. v.9 n.3, , p. 446-459 2001

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 306p.

EAGLEMAN, A. M. **An experimentally derived model for actual evapotranspiration**. *Agricultural Meteorology*, v.8, n.4/5, p.385-409, 1971.

FAO. **FAOSTAT Agriculture data**. Agricultural production. Crops primary. Disponível em: <<http://apps.fao.org/page/collections>> Acesso em: 08 de dezembro de 2002.

HARGREAVES, G. T. **Estimation of potential and crop evapotranspiration**. *Transaction of the ASAE*, v.17, n. 4, p.701-704, 1974.

LOBATO, E. J. V.; SACRAMENTO, G. L.; ANDRADE, R. S.; ALEIXO, V.; GONÇALVES, V. A. **Atlas climatológico do Estado de Goiás**. Goiânia: Ed. da UFG, 2002, 99p.

MALUF, J. R. T.; CUNHA, G. R.; MATZENAUER, R.; PASINATO, A.; PIMENTEL, M. B. M.; CAIAFFO, M. R.. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de feijão no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, 2001. v.9 n.3, p. 468-476 2001a

MALUF, J. R. T.; CUNHA, G. R.; MATZENAUER, R.; PASINATO, A.; PIMENTEL, M. B. M.; CAIAFFO, M. R.; PIRES, J. L. F. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de milho no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, 2001. v.9 n.3, p. 460-467 2001b



MORAES, S. R. P.; OLIVEIRA, A. L. R.; GOMES, N. R.; PONTES, C. Zoneamento Edafobioclimático do Sorgo e da Avicultura no Estado de Goiás. **Revista Mirante** (UFG), v. 9, p. 100-111, 2016.

MORAES, S. R. P.; OLIVEIRA, A. L. R.; MILHOMEM, A. V.; BORGES, E. V.; RIBEIRO, B. R. C. Zoneamento edafobioclimático do Milheto e da Suinocultura no Estado de Goiás. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, v. 8, p. 01-11, 2012.

MORAES, S. R. P.; OLIVEIRA, A. L. R.; MILHOMEM, A. V.; GOMES, N. R.; PONTES, C. Zoneamento Edafobioclimático do Trigo e da Suinocultura no Estado de Goiás. **Revista Mirante** (ONLINE), v. 8, p. 130-148, 2015.

MORAES, S. R. P.; OLIVEIRA, A. L. R.; SILVA, C. M.; CASTRO, R. A. Zoneamento edafoclimático da cultura da Milheto. **Centro Científico Conhecer**. Goiânia, vol.6, N.11; 2010 7p.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979, 422p.

OLIVEIRA, A. L. R. Risco climático e fator de resposta das culturas da cana-de-açúcar e do Trigo para o Estado de Goiás e do Distrito Federal. 2006. 99p. **Tese** (Doutorado em Agronomia) Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2006.

OLIVEIRA, A. L. R.; MORAES, S. R. P.; CURI, T. V.; GILL NETO, A. G. Zoneamento Agroclimático da Banana para o Estado de Goiás. **Enciclopédia Biosfera**, v. 6, p. zoneamento agro, 2010b.

OLIVEIRA, A. L. R.; MORAES, S. R. P.; GILL NETO, A. G. Zoneamento edafoclimático da cultura da melancia. **Centro Científico Conhecer**. Goiânia, vol.6, N.11; 2010a 7p.

OLIVEIRA, A. L. R.; MORAES, S. R. P.; GILL NETO, A. G.; RIBEIRO, A. M.; CURI, T. V. Zoneamento Agroclimático do Trigo para o Estado de Goiás. **Enciclopédia Biosfera**, v. 6, p. zoneamento, 2010c.

OLIVEIRA, A. L. R.; MORAES, S. R. P.; GOMES, N. R.; PONTES, C. Zoneamento Edafobioclimático do Milheto e da Avicultura no Estado de Goiás. **Revista Mirante** (UFG), v. 9, p. 117-128, 2016.

OLIVEIRA, A. L. R.; MORAES, S. R. P.; OLIVEIRA, K. P.; MENDANHA, J. S.; RODRIGUES, J. S. Zoneamento edafoclimático da cultura do Mamão. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, p. 01-9, 2012.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.

SANS, L. M. A.; ASSAD, E. D.; GUIMARÃES, D. P.; AVELLAR, G. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de milho na Região Centro-Oeste do Brasil e para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, 2001. v.9 n.3, p. 527-535

SILVA, F. A. M.; ASSAD, E. D. Análise espaço-temporal do potencial hídrico climático do estado de Goiás. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. Brasília: EMBRAPA/SPI, p.273-309, 1998.



SILVA, S. C.. Estudo e análise espaço-temporal do risco climático no arroz de sequeiro, em áreas constituídas de areia quartzosa e latossolo, no Estado de Goiás. 1997. 78p. **Dissertação** (Mestrado em Meteorologia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

TERAMOTO, E. R. Avaliação e aplicação de modelos de estimativa de produção de cana-de-açúcar (*saccharum* spp.) baseados em parâmetros do solo e do clima. 2003. 86p. **Tese** (Doutorado)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2003.

TERUEL, D. A.; SMIDERLE, O. J. Trigo. In: CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A. **Ecofisiologia de cultivos anuais**. São Paulo: Nobel, 1999. p.13-40.



CAPÍTULO 3

ZONEAMENTO EDAFOCLIMÁTICO DA CULTURA DO MORANGO PARA O ESTADO DE GOIÁS

André Luiz Ribas de Oliveira
Vandervilson Alves Carneiro
Sandra Máscimo da Costa e Silva
João Carlos Mohn Nogueira
Cassia Monalisa dos Santos Silva
Renata Gonçalves Lacerda Oliveira

RESUMO

O cultivo do Morango é de fácil manejo e ajustes no zoneamento climático para o Estado de Goiás e o Distrito Federal, para que possamos recomendar seu uso. Este trabalho utilizou o programa Sarazon, para calcular o balanço hídrico, para as datas de semeadura do 2º, 4º e 6º quinquênios dos meses de fevereiro, março e abril, para as reservas de água no solo de 50 mm e 75 mm. Os dados foram espacializados utilizando o programa SPRING 4.3. Foram gerados os mapas temáticos para a cultura, sendo que estes serviram como auxílio na escolha de áreas para o cultivo do morango. Concluiu-se que o mês de fevereiro é de baixo risco ao cultivo, que a primeira quinzena de abril é de baixo risco para solos com reserva de 50 mm de água e 75 mm e que o 6º quinquênio de abril pequenas áreas não é recomendada para o morango.

PALAVRAS-CHAVE: *Fragaria x ananassa* Duchesne.; Reserva de água; ISNA.

INTRODUÇÃO

O morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duchesne) é uma planta com ampla distribuição geográfica, cujo cultivo tem se expandido nos últimos anos no Brasil (CALVETE et al., 2005).

A possibilidade de utilização dos frutos, tanto no setor industrial como para o consumo “in natura”, aliada ao gosto atrativo e à riqueza de vitaminas e minerais, tem contribuído para o aumento do consumo e da produção, sendo considerada em escala mundial a mais importante das chamadas pequenas frutas (PADOVANI, 1991).

A área brasileira cultivada com morangueiros concentra-se principalmente nos estados do Rio Grande do Sul, Minas Gerais, São Paulo, Paraná e Distrito Federal (CALVETE et al., 2005; IEA, 2007). O Rio Grande do Sul é um dos maiores produtores, com área cultivada de aproximadamente 700 ha (EMATER, 2004).

O morangueiro é uma planta herbácea estolonífera, perene, com caule semi-subterrâneo, conhecido como coroa (caule modificado). A coroa apresenta um tecido condutor periférico em



espiral nos dois sentidos unido às folhas. A medula é proeminente e muito suscetível às geadas. Na medida que a coroa envelhece pode originar de 8 a 10 novas coroas. (EMBRAPA, 2005)

Segundo Mello et al. (2006), o morangueiro exige uma quantidade de água de 900 a 1100 mm por ciclo. Portanto, para que o morangueiro possa expressar seu potencial produtivo, é indispensável o uso de irrigação, sendo ideal o sistema localizado por gotejamento, pois auxilia no processo de manejo de doenças (BALBINO, 2004).

O morangueiro é preferencialmente cultivado em canteiros, possui tipo de crescimento rasteiro e raízes fasciculadas superficiais, devido a esta condição, independente do regime de chuva local, o uso de irrigação é imprescindível para cultivos comerciais (EMBRAPA, 2009).

Os locais que ocorrem chuvas com frequência podem ser prejudiciais a essa cultivar (quando o cultivo não está protegido), devido ao fato de favorecer condições para a ocorrência de doenças.

Segundo SILVA (1997), a utilização do balanço hídrico para a definição de épocas de plantio/semeadura pode contribuir para a redução de riscos climáticos, evitando períodos de déficit hídrico nas fases críticas da cultura. Com auxílio de programas computacionais, pode-se obter resultados mais rápidos e precisos, permitindo avaliar a produção de biomassa e rendimento de grãos.

O regime pluviométrico do Estado de Goiás e Distrito Federal é distribuído em duas fases distintas: o período de seca e o de chuva (NIMER, 1979, CASTRO et al. 1994, ASSAD et al., 1994). O período chuvoso vai de outubro a março, correspondendo de 80 a 90% da precipitação de toda chuva (ASSAD et al. 1994). A região norte e nordeste do Estado apresentam precipitação de 1200 mm a 1400 mm anuais, ampliando em gradiente no sentido leste-oeste do Estado, apresentando faixa de 2400 mm a 2600 mm anuais na região de Piracanjuba (LOBATO et al. 2002)

Diversos trabalhos, em particular no Brasil, propõem métodos e critérios variados para avaliar a aptidão agrícola de plantas variadas e relacionam os parâmetros climáticos com a produtividade agrícola em escala regional.

Segundo TERAMOTO (2003), toda cultura agrícola é influenciada por um grande número de fatores ambientais, sendo alguns deles não passíveis de manejo, como o clima, enquanto outros como o solo e a disponibilidade de água, podem ser manejados para permitir o melhor desempenho da cultura. Nesse sentido, a busca por altos rendimentos a baixos custos



de produção implica em conhecer detalhadamente o ambiente no qual a cultura está implantada, com o objetivo de racionalizar as relações entre os diferentes fatores de produção.

Nos últimos anos, com a necessidade de melhorar a produtividade, mantendo-se a qualidade das culturas, surge uma ferramenta de trabalho extremamente útil, o zoneamento edafoclimático, que permite mapear, concomitantemente, características de solo, do relevo, da fertilidade, do clima e pluviosidade.

Assim, o zoneamento edafoclimático constitui-se em uma ferramenta de organização no planejamento da agricultura, tendo por base o levantamento dos fatores que definem as aptidões agrícolas baseadas sobretudo nos atributos dos solos, topografia, declives e clima encontradas em diferentes áreas das regiões estudadas. Quando se têm delimitadas as condições edafoclimáticas de uma região, pode-se definir regiões climaticamente homogêneas e assim estabelecer o cultivo a ser implantado na área pesquisada.

O zoneamento edafoclimático é mais rápido e facilitado quando se utiliza sistemas de informações geográficas (SIG), que permitem cruzamentos de dados que auxiliam a definir e delimitar áreas propícias ao cultivo, com a utilização de procedimentos simples, tais como o balanço hídrico, declives, tipos de solos e outros.

O presente trabalho teve por objetivo a elaboração do zoneamento edafoclimático para a cultura do morango, visando definir áreas potenciais cultiváveis, melhor época de plantio, produtividade relativa em função do ISNA. Foram realizadas nove simulações do balanço hídrico em diferentes datas de plantio: 2º, 4º e 6º quinquídios dos meses de fevereiro, março e abril (6 a 10, 16 a 20 e 26 a 30), a variável solo foi considerada, pois a mesma é importante para realização de zoneamento adequado.

METODOLOGIA

O zoneamento edafoclimático para a cultura do morango foi realizado utilizando os programas Sarrazon® balanço hídrico e Spring® 4.3. Conforme metodologia utilizada pela EMBRAPA onde os parâmetros avaliados foram o ISNA e duas reservas de água no solo para o balanço hídrico. Este balanço hídrico, gerador dos índices ISNA, de probabilidade de ocorrência de 80%, permitiu a geração dos mapas temáticos de balanço hídrico, sendo estes georeferenciados para o Estado de Goiás e o Distrito Federal, como especificado a seguir.

BALANÇO HÍDRICO

Para realização do balanço hídrico foram utilizadas as séries diárias de dados pluviométricos de chuva de 161 estações pluviométricas com 15 anos de observações, fornecidos pelo antigo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE). As estações empregadas são referentes ao Estado de Goiás e ao Distrito Federal. O cálculo do balanço hídrico foi realizado para períodos pentadiais, utilizando o programa Sarazon®. As nove simulações de plantio foram 2º; 4º e 6º pentadiais dos meses de fevereiro, março e abril.

O conhecimento da evapotranspiração de referência (ET_o) é básico para a estimativa da evapotranspiração da cultura (ET_{pc}). Para a estimativa de ET_o existem vários métodos, cuja escolha é função principalmente da quantidade de informações meteorológicas disponíveis (SILVA, 1997). HARGREAVES (1974) desenvolveu uma fórmula para estimativa da evapotranspiração de referência, enfatizando a simplicidade e o uso do mínimo de variáveis meteorológicas.

Em seguida, com o auxílio do programa SPRING® (2003) e do banco de dados obtido, foi digitalizado e gerado os mapas no Estado de Goiás.

Evapotranspiração potencial da cultura foi calculada conforme equação abaixo:

$$ET_{pc} = ET_o K_c$$

em que,

ET_{pc} = evapotranspiração potencial da cultura, em mm.d⁻¹ e

K_c = coeficiente de cultura (DOORENBOS & KASSAM, 1979)

A evapotranspiração real (ET_r) foi estimada pela equação de terceiro grau, proposta por EAGLEMAN (1971), que descreve a evolução da evapotranspiração real (ET_r) em função da evapotranspiração potencial da cultura (ET_{pc}) e umidade do solo (UR), expressa por:

$$ET_r = A + (B.UR) - (C.UR^2) + (D.UR^3)$$

em que,

$$A = 0,732 - 0,05ET_{pc}$$

$$B = 4,97ET_{pc} - 0,66ET_{pc}^2$$

$$C = 8,57ET_{pc} - 1,56ET_{pc}^2$$

$$D = 4,35ET_{pc} - 0,88ET_{pc}^2$$



Nas simulações do balanço hídrico, tem-se que considerar a variável solo. Os tipos de solos considerados são em função da capacidade de armazenamento de água sendo eles:

–Tipo 1: solos com média capacidade de armazenamento de água (50 mm), no qual se enquadra os Latossolos com teor de argila < 35%;

–Tipo 2: solos com alta capacidade de armazenamento de água (75 mm), no qual se enquadra os Argissolos, Cambissolos e Latossolos com teor de argila > 35%.

GERAÇÃO DOS MAPAS TEMÁTICOS DE RISCO AGROCLIMÁTICO

Na execução deste trabalho foram geradas 18 bancos de dados sendo que estes bancos de dados foram fonte para geração dos 18 mapas temáticos e dentre estes 18 mapas temáticos foi definido 06 mapas temáticos os quais melhor qualifica a escolha das melhores datas de plantio da cultura do morango.

Cada data de plantio é um banco de dados (sendo três para o mês de fevereiro, três para março e três para abril) sendo dois tipos de solo duplica-se as informações para cada data, ou seja, nove datas possíveis para o plantio vezes dois tipos de solo totaliza os 18 bancos de dados. Porém ao final deste trabalho teremos como fruto três datas que melhor representam a escolha para cada solo finalizaremos em três mapas para cada solo.

A relação ET_r/ET_p expressa a quantidade de água que a planta consome (ET_r) e aquela desejável para garantir a sua máxima produtividade (ET_p). A razão ET_r/ET_{pc} é conhecido como ISNA (índice de satisfação da necessidade de água) que expressa a percentagem de água disponível às plantas.

Os valores do ISNA para o morango foram obtidos, sendo gerado apartir destes dados o banco de dados, utilizando o Sarazon® considerando as diferentes datas de plantio. Determinado as relações ET_r/ET_{pc} para o morango, foi efetuada a análise freqüencial com a probabilidade de ocorrência das chuvas de 80%, conforme recomendado por BERNARDO et al. (2006).

Para a realização do zoneamento edafoclimático foi delimitado três classes de aptidões climáticas conforme recomendação de SILVA (1997):

- Para $ISNA \geq 0,60$, a cultura esta exposta a um baixo risco climático;
- Para valores $0,60 > ISNA > 0,50$, a cultura esta exposta a um risco climático médio;
- Para $ISNA \leq 0,50$, a cultura esta exposta a um alto risco climático.



Com os valores dos ISNA foi criado um banco de dados com as respectivas coordenadas geográficas e valores de ISNA, com a utilização do programa SPRING (SIG), foi gerado os mapas temáticos de riscos climáticos, finalizando a execução do projeto 2016/2018:

- Digitação de arquivos ASCII (ISNA);
- Importação do arquivo ASCII;
- Geração da grade de pontos;
- Fatiamento das classes de risco climático;
- Delimitação para Goiás e Distrito Federal;
- Correlação com os mapas de solos;
- Associação das classes aos polígonos;
- Edição vetorial;
- Confecção dos mapas temáticos;
- Impressão dos mapas.

Foram confeccionados 03 mapas temáticos de riscos climáticos, para cada capacidade de armazenamento de água no solo (50 e 75 mm) para a cultura do morango depois de ajustados os valores das interpolações, definidos pelas classes de aptidão climática e escolhido os que melhor representam os dados calculados.

RESULTADOS ALCANÇADOS

Foram gerados nove mapas temáticos para cada tipo de solo e destes escolhemos três que melhor definem a aptidão climática para a cultura do morango. Em solos em que a capacidade de armazenamento de água é de 50 mm temos que todo mês de fevereiro e março é adequado ao plantio de morango para todo o Estado de Goiás e o Distrito Federal.

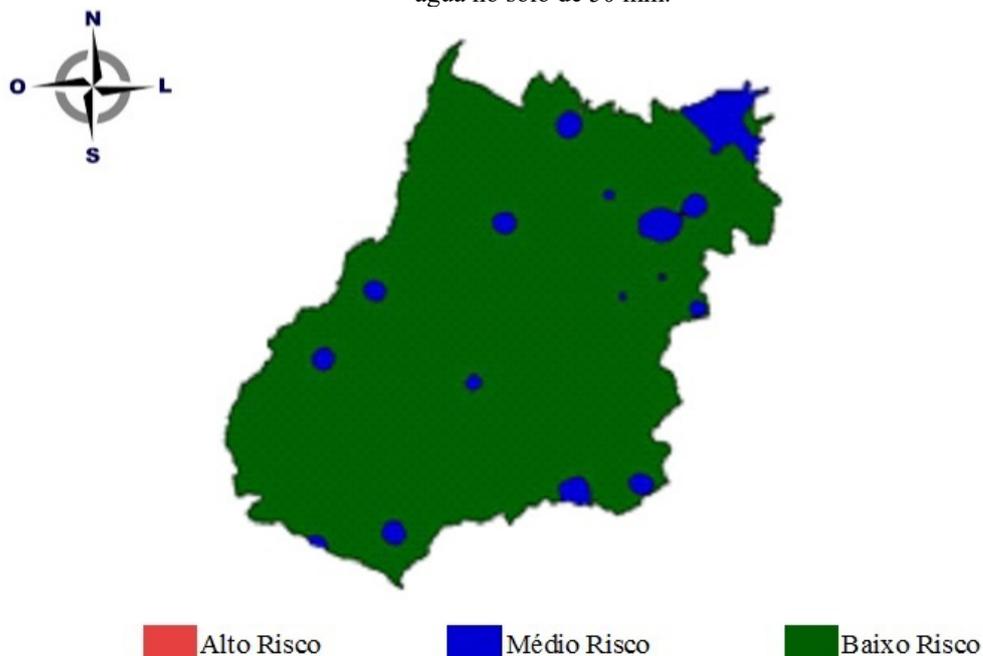
A partir do período de 6-10 de fevereiro, conforme figura 01, todo Estado e o Distrito Federal pode realizar o plantio, onde quase toda totalidade apresenta baixo risco climático para o plantio da cultura do morango, e apresentado pequenas áreas entorno de 16, em que o risco climático ao cultivo é de médio risco.

No período de 16-20 de abril, conforme a figura 02, quase todo estado pode-se plantar o morango pois apresenta médio risco climático ao cultivo, apenas duas áreas pequenas no

apresenta alto risco climático ao plantio do morango considerando todo o Estado e o Distrito Federal.

Após o período de 26-30 de abril, conforme figura 03, entorno de dez áreas em todo o Estado de Goiás e no DF apresentam alto risco climático ao plantio da cultura do morango.

Figura 01: Risco climático para a cultura do morango para o plantio entre 06-10 de fevereiro para a reserva de água no solo de 50 mm.



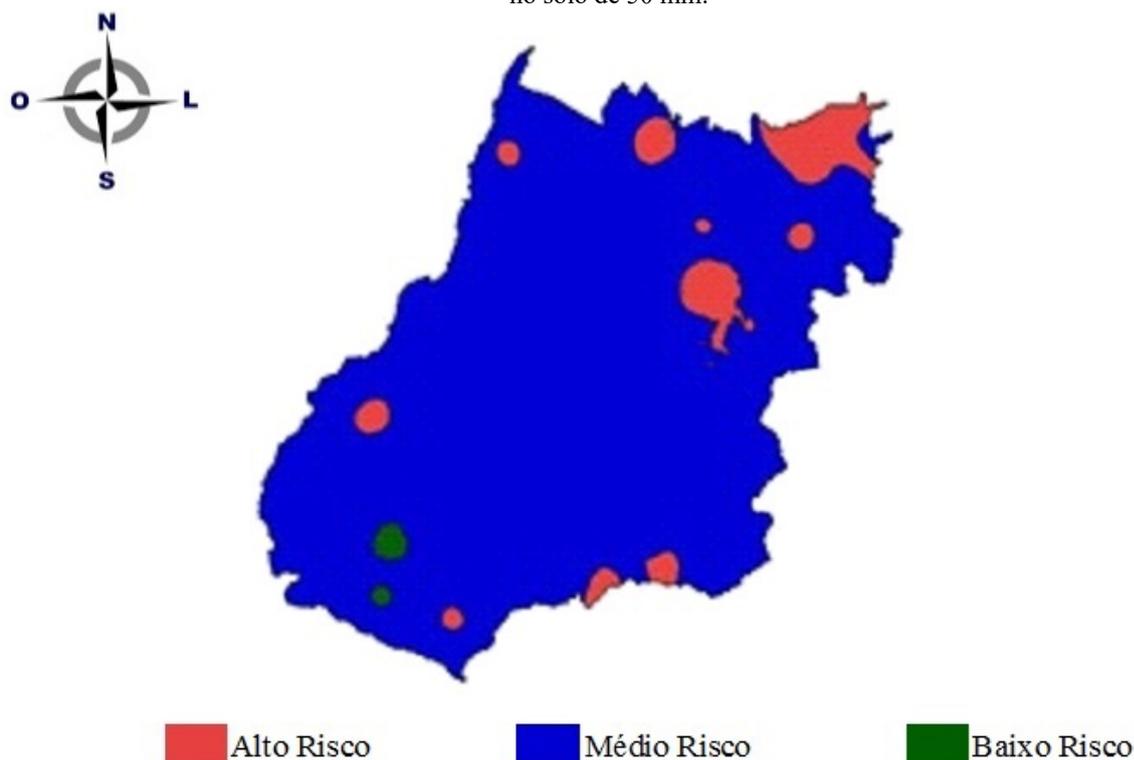
Fonte: Autores 2021.

Figura 02: Risco climático para a cultura do morango para o plantio entre 16-20 de abril para a reserva de água no solo de 50 mm.



Fonte: Autores 2021.

Figura 03: Risco climático para a cultura do morango para o plantio entre 26-30 de abril para a reserva de água no solo de 50 mm.



Fonte: Autores 2021.

Quanto às áreas de solos em que a capacidade de armazenamento de água é de 75 mm, tem-se que todo mês de fevereiro e março é adequado ao plantio de morango e o mês de abril quase todo é adequado para todo o Estado de Goiás e o Distrito Federal. Observa-se nas figuras 04 à 06 o que melhor descreve as 09 simulações.

A figura 04 apresenta o plantio para a cultura do morango a partir de 06-10 de fevereiro apenas um ponto apresenta alto risco climático ao plantio do morango isso observado na região Sudeste do estado de Goiás. Cinco pequenos pontos no estado apresentam médio risco climático e o restante, ou quase a totalidade do estado com baixo risco climático para o plantio do morango.

Para o período de 16-20 de abril para todo o Estado de Goiás apenas dois pontos apresentam alto risco climático ao plantio do morango no estado de Goiás. Grande parte do estado apresenta médio risco climático e o restante, quase um terço do estado com baixo risco climático para o plantio do morango, conforme a figura 05.

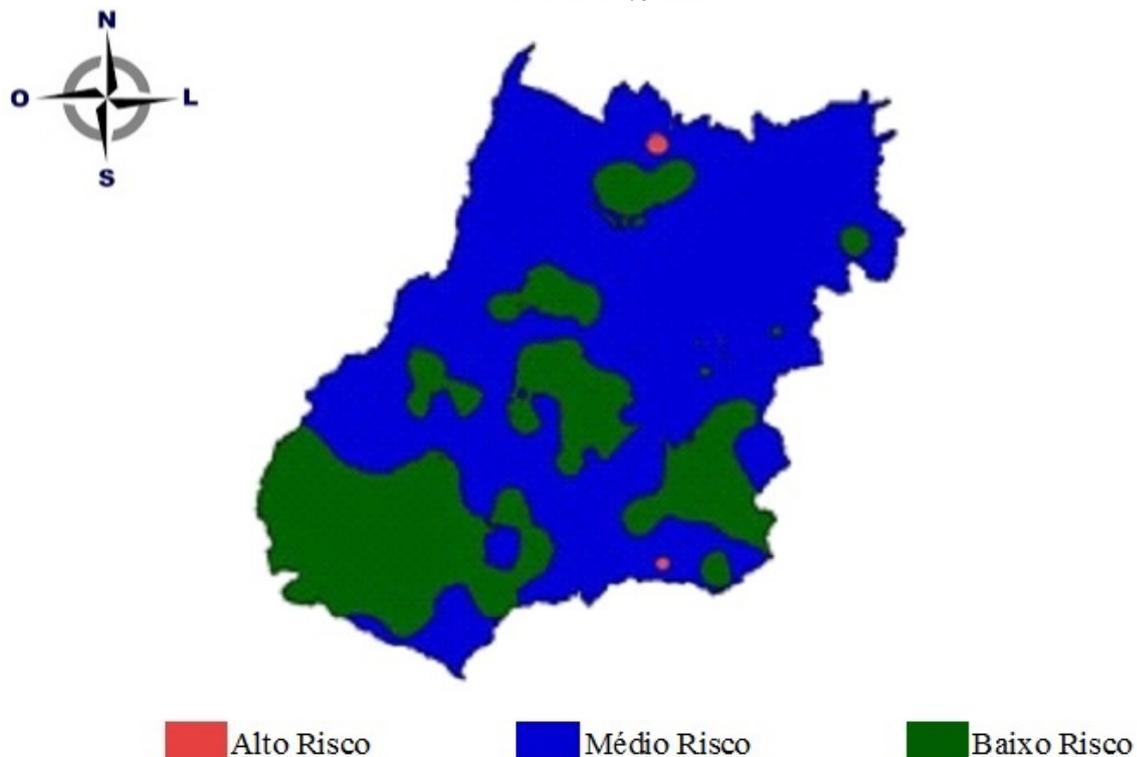
Quanto ao período de 26-30 de abril temos praticamente todo Estado e o DF em médio risco climático e apenas quatro de alto risco climático à implantação da cultura conforme se observa na figura 06.

Figura 04: Risco climático para a cultura do morango para o plantio entre 06-10 de fevereiro para a reserva de água no solo de 75 mm.



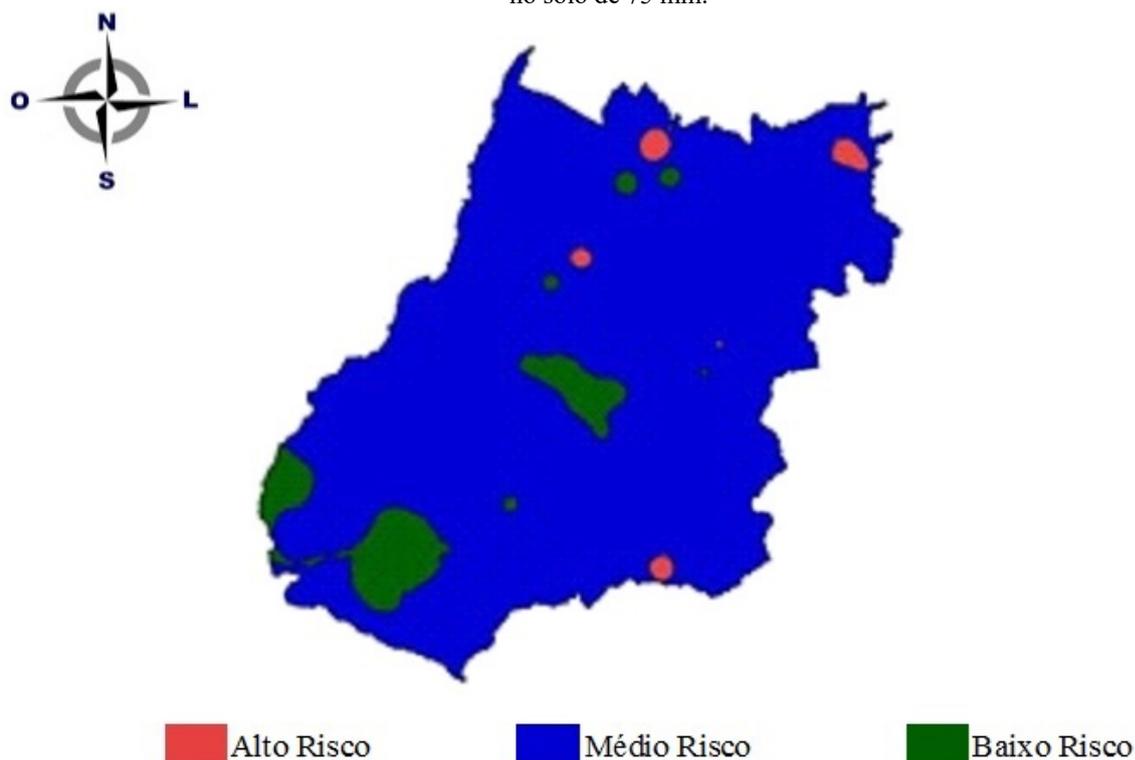
Fonte: Autores 2021.

Figura 05: Risco climático para a cultura do morango para o plantio entre 16-20 de abril para a reserva de água no solo de 75 mm.



Fonte: Autores 2021.

Figura 06: Risco climático para a cultura do morango para o plantio entre 26-30 de abril para a reserva de água no solo de 75 mm.



Fonte: Autores 2021.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

✚ O uso do Sistema de Informações Geográficas com o cálculo do balanço hídrico foram as ferramentas necessárias e fundamentais para realização do referido trabalho, desta forma o ganho financeiro é expressivo e incalculável.

✚ O plantio da cultura do morango realizado em solo com reserva de água em 50 mm não é prejudicada nos meses de estudados fevereiro, março e abril. Consideramos que apenas no último quinquênio de abril uma pequena parte é prejudicada.

✚ Quando o solo apresenta reserva de água na ordem de 75 mm, o plantio é favorecido em todos os meses estudados, tendo prejudicado apenas o último quinquênio de abril.

✚ Quanto ao risco climático para o plantio do morango neste estudo não há período inapto para o Estado de Goiás e o DF.

REFERÊNCIAS

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SENTELHAS, P. C.; LIMA, M. G.; AGUIAR, M. J. N.; LEITE, D. A. S. R. Zoneamento agroclimático para as culturas de milho e de soja no estado do Piauí. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, 2001. v.9 n.3, p. 544-550

ASSAD, E. D.; SANO, E. E.; MASUTOMO, R.; CASTRO, L. H. R.; SILVA, F. A. M. Veranicos na região dos cerrados brasileiros: frequência e probabilidade de ocorrência. In: ASSAD, E. D. **Chuva nos cerrados: análise e espacialização**. Brasília: Embrapa – CPAC: Embrapa – SPI, 1994. p. 43-48.

BALBINO, J. M. de S. **Tecnologias para produção, colheita e pós-colheita de morangueiro**. Vitória: Incaper, 2004. 76 p. (Incaper. Documentos, 124)

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. Viçosa: UFV, 2006. 625p.

BRUNINI, O.; ZULLO JÚNIOR, J.; PINTO, H. S.; ASSAD, E.; SAWAZAKI, E.; DUARTE, A. P.; PATTERNIANI, M. E. Z. Riscos climáticos para a cultura de milho no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, 2001. v.9 n.3, p. 519-526

CALVETE, E. O.; ROCHA, H. C.; ANTUNES, O. T.; NIENOW, A. A. **Morangueiro polinizado pela abelha Jataí em ambiente protegido**. Passo Fundo: UPF, 2005. 53 p.

CASTRO, L. H. R.; MOREIRA, A. M.; ASSAD, E. D. Definição e regionalização dos padrões pluviométricos dos cerrados brasileiros. In: ASSAD, E. D. **Chuva nos cerrados: análise e espacialização**. Brasília: Embrapa – CPAC: Embrapa – SPI, 1994. p. 13-23.

CUNHA, G. R.; BARNI, N. A.; HAAS, J. C.; MALUF, J. R. T.; MATZENAUER, R.; PASINATO, A.; PIMENTEL, M. B. M.; PIRES, J. L. F. Zoneamento agrícola e época de semeadura para soja no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, 2001. v.9 n.3, , p. 446-459 2001

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 306p.

EAGLEMAN, A. M. An experimentally derived model for actual evapotranspiration. **Agricultural Meteorology**, v.8, n.4/5, p.385-409, 1971.

EMATER. Levantamento da fruticultura comercial do Rio Grande do Sul – 2003/2004. Porto Alegre, 2004. 89 p.

EMBRAPA Clima Temperado - **Zoneamento Agroclimático para Produção de Morango no Rio Grande do Sul**. Pelotas - RS, 2009. 13 p. (site: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/748261/4/13219.pdf>)

EMBRAPA UVA E VINHO. **Sistema de Produção de Morango para Mesa na Região da Serra Gaúcha e Encosta Superior do Nordeste** - Dez. 2005. ISSN 1678-8761. <http://www.cnpuv.embrapa.br/publica/sprod/MesaSerraGaucha/importancia.htm>

FAO. **FAOSTAT Agriculture data**. Agricultural production. Crops primary. Disponível em: <<http://apps.fao.org/page/collections>> Acesso em: 25 de outubro de 2002



HARGREAVES, G. T. **Estimation of potencial and crop evapotranspiration**. Transaction of the ASAE, v.17, n. 4, p.701-704, 1974.

IEA - IEA. **Pólos de produção do morango**. 2007. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br> acesso em: 11 jun. 2009.

LOBATO, E. J. V.; SACRAMENTO, G. L.; ANDRADE, R. S.; ALEIXO, V.; GONÇALVES, V.A. **Atlas climatológico do Estado de Goiás**. Goiânia: Ed. da UFG, 2002, 99p.

MALUF, J. R. T.; CUNHA, G. R.; MATZENAUER, R.; PASINATO, A.; PIMENTEL, M. B. M.; CAIAFFO, M. R. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de feijão no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, 2001. v.9 n.3, p. 468-476 2001a

MALUF, J. R. T.; CUNHA, G. R.; MATZENAUER, R.; PASINATO, A.; PIMENTEL, M. B. M.; CAIAFFO, M. R.; PIRES, J. L. F. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de milho no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, 2001. v.9 n.3, p. 460-467 2001b

MELLO, M. S.; CARVALHO, A. M.; GUIMARÃES, J. C. **Nutrição, irrigação e fertirrigação do morangueiro**. In: CARVALHO, S.P. de (Coord.). Boletim do morango: cultivo convencional, segurança alimentar, cultivo orgânico. Belo Horizonte: FAEMG, 2006. p. 29-54.

MORAES, S. R. P.; OLIVEIRA, A.L.R.; MILHOMEM, A. V. ; BORGES, E. V.; RIBEIRO, B. R. C. . **Zoneamento edafobioclimático do Milheto e da Suinocultura no Estado de Goiás**. Enciclopédia Biosfera, v. 8, p. 01-11, 2012.

MORAES, S. R. P.; OLIVEIRA, A.L.R.; MILHOMEM, A. V. ; GOMES, N. R. ; PONTES, C. . **Zoneamento Edafobioclimático do Trigo e da Suinocultura no Estado de Goiás**. Revista Mirante (UFG), v. 8, p. 130-148, 2015.

MORAES, S. R. P.; OLIVEIRA, A.L.R.; SILVA, C. M.; CASTRO, R. A. **Zoneamento edafoclimático da cultura do Milheto**. Enciclopédia biosfera, v. 11, p. 7, 2010.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979, 422p.

OLIVEIRA, A. L. R. **Risco climático e fator de resposta das culturas da cana-de-açúcar e do trigo para o Estado de Goiás e do Distrito Federal**. 2006. 99p. Tese (Doutorado em Agronomia) Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2006.

OLIVEIRA, A.L.R.; MORAES, S. R. P.; CURI, T. V.; GILL NETO, A. G.; SANTOS, D. G. **Zoneamento Agroclimático da Banana para o Estado de Goiás**. Enciclopédia biosfera, v. 6, p. zoneamento agro, 2010a.

OLIVEIRA, A.L.R.; MORAES, S. R. P.; GILL NETO, A. G. **Zoneamento edafoclimático da cultura da Melancia**. Enciclopédia biosfera, v. 11, p. 6, 2010b.

OLIVEIRA, A.L.R.; MORAES, S. R. P.; GILL NETO, A. G.; RIBEIRO, A. M.; CURI, T. V. **Zoneamento Agroclimático do Trigo para o Estado de Goiás**. Enciclopédia biosfera, v. 6, p. zoneamento, 2010c.



OLIVEIRA, A.L.R.; MORAES, S. R. P.; Oliveira, K. P.; MENDANHA, J. S. ; RODRIGUES, J. S.. **Zoneamento edafoclimático da cultura do Mamão**. Enciclopédia Biosfera, v. 8, p. 01-9, 2012.

PADOVANI, M. I. **Morango: o delicado e saboroso fruto da integração dos povos**. São Paulo: Ícone, 1991.

SANS, L. M. A.; ASSAD, E. D.; GUIMARÃES, D. P.; AVELLAR, G. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de milho na Região Centro-Oeste do Brasil e para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, 2001. v.9 n.3, p. 527-535

SILVA, F. A. M.; ASSAD, E. D. Análise espaço-temporal do potencial hídrico climático do estado de Goiás. In: ASSAD, E. D.; Sano, E. E. **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. Brasília: EMBRAPA/SPI, 1998, p.273-309.

SILVA, S. C. **Estudo e análise espaço-temporal do risco climático no arroz de sequeiro, em áreas constituídas de areia quartzosa e latossolo, no Estado de Goiás**. 1997. 78p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

TERAMOTO, E. R. **Avaliação e aplicação de modelos de estimativa de produção de cana-de-açúcar (saccharum spp.) baseados em parâmetros do solo e do clima**. 2003. 86p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2003.



CAPÍTULO 4

APLICAÇÃO DE HEURÍSTICA DO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE EM UMA USINA SUCROALCOOLEIRA

DOI: 10.47402/ed.ep.c20229144974

Eduarda Aparecida Siqueira De Paula
Juliana Verga Shirabayashi
Jair Da Silva

RESUMO

No Brasil, o setor sucroalcooleiro vem crescendo consideravelmente, tornando-se um dos pilares da atividade agrícola. Com a expansão da produção, muitas agroindústrias investiram na colheita mecanizada visando uma maior eficiência da operação e, desta forma, buscar a otimização do processo logístico das colhedoras, se faz necessário para garantir a qualidade da matéria prima com custos reduzidos. Este trabalho propõe um modelo matemático para a otimização da rota na colheita mecanizada da cana-de-açúcar em uma usina sucroalcooleira, a fim de designar a melhor rota a ser percorrida pelas colhedoras. o modelo matemático foi construído a partir do problema do caixeiro viajante, no qual a solução pôde ser obtida utilizando o pacote *travelingsalesmanheuristics* contido na linguagem de programação Julia. Os resultados obtidos contribuíram para a análise logística da empresa, visto que a usina a realizava de maneira empírica. além disso, com a otimização das rotas é possível a redução de gastos com o consumo de combustível e com os desgastes dos veículos.

PALAVRAS-CHAVES: otimização; colheita mecanizada; caixeiro viajante; métodos heurísticos.

INTRODUÇÃO

Com o aumento da competitividade entre as empresas, cabe aos gestores buscar constantemente a melhoria de seus processos e operações. Atualmente, um dos principais desafios enfrentados pelos diversos ramos de atividades no Brasil, reduz-se ao cenário da logística. Uma vez que a logística representa boa parte dos custos e dos lucros de uma empresa, é fundamental o empenho para se buscar soluções otimizadas para este setor.

Dentre a variedade de ramos do mercado, a atividade agrícola tem se tornando cada vez mais forte e potente no território brasileiro, já que é uma das mais importantes da economia do país, sendo responsável por gerar os insumos produzidos para subsistência, exportação e comércio.

No Brasil, o setor sucroalcooleiro no qual abrange as empresas que produzem açúcar ou álcool, está intimamente relacionado à cultura de cana-de-açúcar, posto que este é o insumo primordial para a produção destes produtos mencionados. Com o aumento da demanda pela



cana-de-açúcar, os processos inerentes à colheita, precisaram ser revistos para que a produtividade se mantivesse crescente. A adoção pela colheita mecanizada, foi uma das alternativas que as empresas optaram visando uma maior eficiência da operação.

Segundo Ripoli (1996), a colheita da cana pode ocorrer de maneira manual, semi-mecanizada ou mecanizada. Na colheita mecanizada, tanto o corte como o carregamento da matéria-prima, são realizados por maquinários. Embora este tipo de colheita contribua para a redução dos custos de produção e traga benefícios ambientais, para se obter mais eficiência no processo, torna-se necessário o planejamento logístico da colhedora a fim de otimizar a rota que será percorrida por ela.

Dado a complexidade de problemas desse tipo, a Pesquisa Operacional (PO) tem por intuito auxiliar no processo de tomada de decisões de problemas reais, por meio do uso de técnicas de modelagem matemática e algoritmos computacionais. Na literatura, é possível encontrar diversos trabalhos que utilizaram técnicas da PO para solucionar problemas, tanto de baixa complexidade quanto de alta complexidade.

Baseado neste contexto, esse trabalho propõe um modelo matemático para otimização da rota da colheita mecanizada da cana-de-açúcar de uma usina sucroalcooleira do município de Jandaia do Sul-PR, objetivando designar a melhor rota a ser percorrida pelas colhedoras nos canaviais. Para o modelo, foi estudado o Problema do Caixeiro Viajante (PCV), problema bastante conhecido devido às suas aplicações em problemas reais. Para a solução foi utilizado o pacote *TravelingSalesmanHeuristics* contido na linguagem de programação *Julia*. Os resultados obtidos contribuíram para a análise logística da empresa, visto que a mesma era realizada de maneira empírica. Além disso, com a otimização da rota torna-se possível a redução de gastos com o consumo de combustível, e desgaste dos veículos.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção, apresentamos uma breve revisão bibliográfica sobre o problema e os métodos abordados neste trabalho.

Processo de plantio da cana-de-açúcar

Segundo Rossetto e Santiago (2017), para a implantação de um canavial, primeiramente deve-se realizar o planejamento da área, efetuando um levantamento topográfico. Nas áreas de plantio, é feita a sistematização do terreno, no qual a área é dividida em talhões e carregadores são alocados. Quanto aos talhões, o ideal é procurar talhões mais planos, a fim de manter as linhas de canas com um comprimento maior para que manobras das máquinas sejam evitadas.



Gazon (2009) afirma, que uma boa sistematização do canavial possibilita um melhor desempenho das máquinas, o que impacta diretamente nos custos inerentes ao transporte da cana. De acordo com Marques (2009), para a preparação do solo nem sempre as operações são padrões, pois fatores como condições do terreno, tipo de solo, regime de chuvas, disponibilidade de máquinas e implementos, declividade, suscetibilidade a erosão e a situação da área, podem influenciar.

As operações mais correntes realizadas para a preparação do solo são: aração, calagem, confecção de terraços, dessecação para plantio, gessagem, gradagem niveladora, manutenção de estradas e carregadores, sistematização do terreno e subsolagem (MARQUES, 2009).

Para o plantio, geralmente são seguidas as etapas de corte de mudas, distribuição no sulco, corte dos colmos em pedaços menores e cobertura.

Colheita mecanizada

Segundo Ripoli (1996), existem três tipos de sistemas de colheita no Brasil: manual, semi-mecanizada e a mecanizada.

O sistema manual é aquele que consiste no emprego da mão de obra para realização do corte e carregamento da matéria-prima, no qual trabalhadores munidos de facões, realizam o corte basal dos colmos, o corte apical e a despalha (CÂMARA; OLIVEIRA, 1993). Tal sistema é muito comum no nordeste do país e nas áreas com alta declividade, as quais não permitem o uso de máquinas. No sistema semi-mecanizado o corte é manual, mas o carregamento da matéria-prima é mecanizado. Este sistema é o mais utilizado no Brasil, principalmente pelos produtores autônomos que não possuem recursos para aquisição de colhedoras mecanizadas (RIPOLI, 1996). E já no sistema mecanizado, tanto o corte como o carregamento da matéria-prima são realizados por máquinas.

De acordo com Câmara e Oliveira (1993), há dois sistemas quanto à colheita mecanizada de cana: o primeiro utiliza cortadoras para realizar os cortes basal e apical dos colmos, na qual os colmos ficam sobre o terreno para posterior transporte, e o segundo opera com máquinas auto-propelidas, que realizam o corte, a picagem e a limpeza dos colmos, além do transporte. Logo após o processo de colheita, a cana é transportada por caminhões para a unidade processadora.

A adoção da colheita mecanizada no Brasil, é relativamente recente, já que começou a ser implementada por volta da década de 2000. O seu emprego é essencial para empresas que

desejam possuir uma vantagem competitiva no mercado, já que por meio de sua implementação, é possível aumentar sua produtividade.

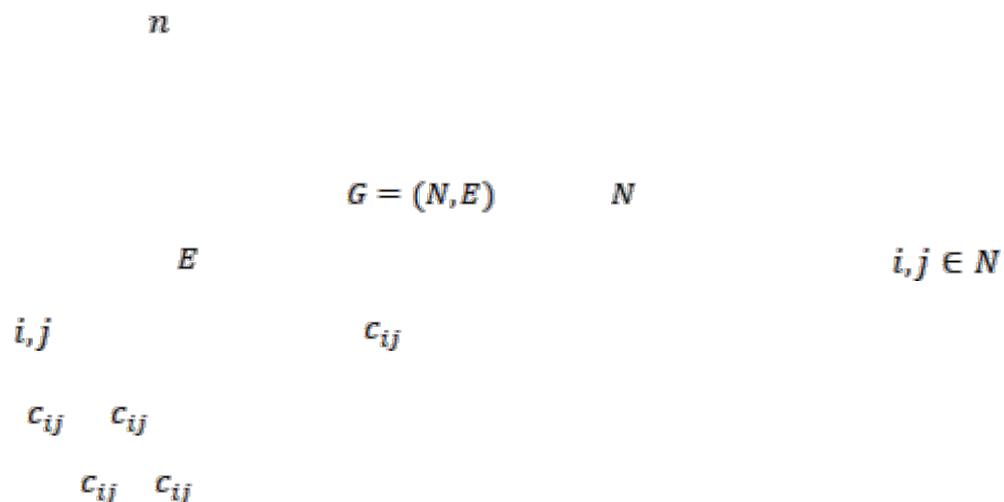
Entre os benefícios da colheita mecanizada, vale ressaltar, a diminuição dos custos com mão de obra, a agilidade no processo de colheita, redução de perdas quantitativas do processo, entre outros.

Apesar do emprego da colheita mecanizada propiciar muitos benefícios, Ripoli e Paranhos (1987), afirmam que para se obter o sucesso da colheita mecanizada alguns fatores precisam ser considerados, como: características do maquinário (velocidade de deslocamento; potência; características dos processos de levantamento de cana acamadas, de picamento e ventilação); variações do campo (preparo e nivelamento do solo, de plantio espaçamento; declividade do terreno; formato dos talhões); condições administrativas (treinamento do pessoal; desempenho operacional da colhedora), entre outros.

Portanto, o sistema de colheita deve ser planejado visando sempre a melhoria contínua das operações no canavial.

Problema de caixeiro viajante

O Problema do Caixeiro Viajante (PCV) é um dos problemas combinatórios mais conhecido na literatura devido as suas diversas aplicações em problemas práticos.



Abaixo segue o modelo genérico para o PCV, descrita em (1)-(5) (CARVALHO, 2007).

$$\min \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \forall j \in N \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \forall i \in N \quad (3)$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} x_{ij} \leq |S| - 1, i, j = 1, \dots, n \quad (4)$$

$$x_{ij} = \{0,1\}, i, j = 1, \dots, n \quad (5)$$

$i \in N$

x_{ij}

$i \in N$

seja visitada apenas uma vez.

Linguagem de programação *JULIA*

Para a implementação da metodologia proposta, será utilizado a linguagem de programação *Julia*, pois trata-se de uma linguagem *open source* de alto nível, rápida, voltada para a computação numérica de alto desempenho.

Tendo em vista as dificuldades enfrentadas com algumas linguagens de programação em relação a desempenho e produtividade, a linguagem de programação *Julia* foi criada com o propósito de unificar as vantagens de várias linguagens de programação (CASTELLUCCI, 2017).

De acordo com Pereira e Siqueira (2016), a linguagem *Julia* é relativamente jovem, já que foi lançada em 2012, e surgiu com o intuito de facilitar a modelagem computacional. A linguagem possui uma sintaxe de comando similar ao *MATLAB*, o qual não exige o uso de máquinas potentes, sendo possível seu uso online via o site juliabox.com. Além disso, é escrita em C, C++ e Scheme e sua biblioteca é escrita usando a própria linguagem *Julia* (PEREIRA; SIQUEIRA, 2016).

Esta linguagem possui vários pacotes computacionais os quais podem ser utilizados para resolver diversos tipos de problemas, seja por métodos exatos quanto utilizando heurísticas.



Neste trabalho, utilizamos o pacote *TravelingSalesmanHeuristics*, no qual será descrito na subseção 2.4.1.

Travelingsalesmanheuristics

O *TravelingSalesmanHeuristics* é um pacote da linguagem de programação *Julia* que possui várias heurísticas para a resolução do PCV.

As heurísticas implementadas por este pacote são divididas em heurísticas de geração de caminho e heurísticas de refinamento de caminho. Nas heurísticas de geração de caminho, um caminho inicial é criado a partir de uma instância que é determinada por uma matriz de distância e nas heurísticas de refinamento de caminho, um caminho de entrada é dado e tenta-se melhorá-lo.

Este pacote, apesar de resolver o PCV, pode ser usado para resolução de variantes de outros problemas como o Problema do Carteiro Chinês (PCC) e o Problema do Carteiro Rural (PCR).

USINA SUCROALCOOLEIRA

Para aplicação do PCV, o estudo foi realizado em uma usina sucroalcooleira pertencente a uma cooperativa do Vale do Ivaí, situada no município de Jandaia do Sul/PR. A usina que possui 40 anos de existência, conta atualmente com cerca de 13 mil hectares de cana-de-açúcar, sendo responsável pela produção de produtos à base de milho e cana, já que recentemente foi pioneira no estado do Paraná ao instalar uma planta de moagem de milho.

Os principais produtos fabricados pela usina são o açúcar, DDG milho, etanol de cana e etanol de milho. O açúcar é obtido por meio do tratamento industrial do caldo da cana e assume as formas de cristal, demerara, refinado e refinado amorfo. O DDG milho (DDG convencional, DDG fibroso e o DDG de alta proteína) é o um co-produto do álcool do milho que é adquirido no final do processo fermentativo e é utilizado na nutrição de animais. E o etanol, é o álcool que é obtido pela destilação do milho e da cana quando fermentados.

Desde sua existência, a usina utilizava o sistema de colheita manual para realizar a colheita da cana. Foi a partir do ano de 2009, buscando o aumento da produtividade e a agilidade no processo, que a cooperativa passou a adotar a colheita mecanizada. Hoje, cerca de 60% da colheita é mecanizada sendo o restante totalmente manual.

Os plantios da cana-de-açúcar estão dispersos em várias cidades do Vale do Ivaí, entre elas, Jandaia do Sul, Bom Sucesso, Cambira, São Pedro do Ivaí, Marumbi e Mandaguari. Em



cada cidade, há as propriedades que são compostas por grandes áreas com cana, que são divididas em talhões (divisão do terreno, influenciada por sua topologia e declividade).

Para o transporte da cana, é feito um planejamento diário pelo setor de logística, que contém informações referentes as propriedades que serão colhidas naquele dia, juntamente com os talhões específicos, bem como, a distância entre as propriedades e a usina, o tempo de carga e descarga, a quantidade de cana que deverá ser colhida (toneladas), o cooperado responsável pela coleta e o equipamento que será utilizado no transporte. Em geral, os equipamentos usados são caminhões do tipo Romeu e Julieta (transporta a cana inteira) e Treminhão (transporta a cana picada).

A distância prevista no planejamento diário, é estimada de maneira empírica pelo responsável da logística e refere-se à distância de cada propriedade até a usina, visto que, na maioria das vezes a capacidade do veículo já é atingida, obrigando o retorno para usina para a realização da descarga. No momento da colheita, se ao realizar a coleta em determinada propriedade e a capacidade do caminhão ainda não for atingida, o cooperado deve continuar a colheita em outras propriedades até a capacidade ser completada, para então retornar para a usina.

Com base neste contexto, este trabalho tem por intuito propor um modelo matemático que otimize a rota percorrida pelas colhedoras quando há a necessidade de colher em várias propriedades diferentes, designando a rota que visite todas as propriedades com uma distância total mínima.

METODOLOGIA

Segundo Turrioni e Mello (2012), uma pesquisa científica pode ser classificada a partir da sua natureza, dos seus objetivos, de sua abordagem e de seus métodos.

Quanto a sua natureza, a pesquisa classifica-se como aplicada pois visa utilizar os resultados obtidos na resolução de um problema real (TURRIONI; MELLO, 2012). Em relação aos seus objetivos, a pesquisa possui caráter empírico normativo, já que busca desenvolver um modelo matemático que otimize a situação corrente (FLEURY; et al.,2018). Quanto a forma de abordar o problema, a pesquisa pode ser considerada quantitativa, pois requer o uso de técnicas matemáticas para analisar as informações adquiridas. E do ponto de vista dos métodos, a pesquisa utilizará do método de modelagem e simulação para analisar e traçar o melhor planejamento logístico da colheita mecanizada (TURRIONI; MELLO, 2012).



O primeiro passo para o desenvolvimento da solução, foi o acesso ao planejamento diário elaborado pela empresa, a fim de coletarmos as propriedades que seriam visitadas em determinado dia. Em seguida, foi fornecido pela cooperativa o caderno dos mapas das propriedades da usina, em que continha as coordenadas geográficas de cada propriedade, sendo possível a coleta das distâncias entre as propriedades e a usina por meio da ferramenta *Google Maps*, gerando por fim a matriz de distância.

Para os testes computacionais, foram cedidos pela empresa, o planejamento diário de três dias, a saber, 27/05/2020; 01/06/2020 e 09/06/2020.

TESTES COMPUTACIONAIS

Os testes computacionais foram realizados em um notebook com sistema operacional *Linux*, processador Intel® Core™ i3, utilizando a versão Julia 0.6 executada na plataforma Atom. O pacote utilizado foi o *TravelingSalesmanHeuristics* contido na própria biblioteca do *Julia*. Os resultados obtidos para cada um dos três dias são apresentados a seguir.

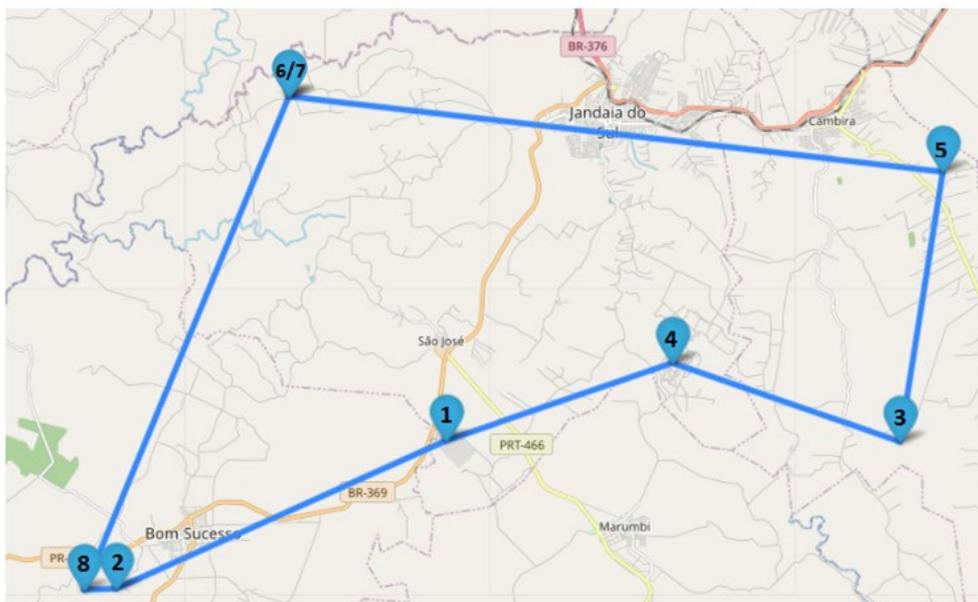
Para o dia 27/05/2020, a rota otimizada é composta por: 1-2-8-7-6-5-3-4-1, totalizando a distância de 115,4 Km.

TABELA 1 – Relação entre propriedades, cidades e números correspondentes – 27/05/2020.

DIA 27/05/2020		
PONTOS	PROPRIEDADE	CIDADE
1	Usina	Jandaia do Sul
2	Fazenda Santo A da Colina (F1)	Bom Sucesso
3	Fazenda Beira Rio (F2)	Cambira
4	Sítio Boa Sorte (F3)	Jandaia do Sul
5	Sítio Fugil (F4)	Cambira
6	Sítio Alambique (F5)	Jandaia do Sul
7	Sítio Alambique (F6)	Jandaia do Sul
8	Sítio Parra (F10)	Marumbi

Fonte: Os autores(2021).

FIGURA 1 – Mapa da rota otimizada para o dia 27/05/2020.



Fonte: Google Maps.

Para o dia 01/06/2020, a rota otimizada é composta por: 1-3-4-7-8-5-6-2-1, totalizando à distância de 119,2 Km.

TABELA 2 – Relação entre propriedades, cidades e números correspondentes – 01/06/2020.

DIA 01/06/2020		
PONTOS	PROPRIEDADE	CIDADE
1	Usina	Jandaia do Sul
2	Fazenda Santana (F1)	Bom Sucesso
3	Fazenda Beira Rio (F2)	Cambira
4	Fazenda Kaloré (F3)	Marumbi
5	Fazenda Caratimbé (F4)	Bom Sucesso
6	Fazenda São João (F5)	Bom Sucesso
7	Fazenda São Lucas (F6)	Bom Sucesso
8	Sítio Cambara (F10)	Bom Sucesso

Fonte: Os autores (2021).

FIGURA 2 – Mapa da rota otimizada para o dia 01/06/2020.



Fonte: Google Maps.

Para o dia 09/06/2020, a rota otimizada é composta por: 1-3-2-4-8-6-5-7-1, totalizando a distância total de 126 Km.

TABELA 3 – Relação entre propriedades, cidades e números correspondentes – 09/06/2020.

DIA 09/06/2020		
PONTOS	PROPRIEDADE	CIDADE
1	Usina	Jandaia do Sul
2	Fazenda Monte Carmelo (F1)	Marumbi
3	Fazenda Beira Rio (F2)	Cambira
4	Fazenda Monte Carmelo (F3)	Marumbi
5	Fazenda São José (F4)	Bom Sucesso
6	Fazenda São José (F5)	Bom Sucesso
7	Sítio Orsi (F6)	Bom Sucesso
8	Sítio Cambara (F10)	Bom Sucesso

Fonte: Os Autores (2021).

FIGURA 3 – Mapa da rota otimizada para o dia 09/06/2020.



Fonte: Os Autores (2021).

O tempo computacional para executar os três testes foi de 0,000081 segundos.

Os testes computacionais realizados com os dados da usina, comprovaram a eficácia do modelo para gerar a solução ótima. Com estes resultados, não foi possível realizar nenhum tipo de comparação pois a empresa realizava estas rotas de maneira empírica, por isso não soube nos informar a distância que era percorrida. No entanto, este trabalho contribuirá para a análise logística da empresa e ajudará nas tomadas de decisões.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi abordado um problema prático de planejamento da rota das colhedoras utilizadas no processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar. Foi proposto um modelo matemático para a otimização da rota percorrida pelas colhedoras, no qual fosse capaz de designar a rota que contivesse a distância mínima, a fim de auxiliar no planejamento logístico da cooperativa. O modelo foi construído a partir do Problema do Caixeiro Viajante (PCV), que é muito encontrado na literatura.



Como relatado na pesquisa, o planejamento logístico das colhedoras acontece de maneira empírica pelo setor, e por isso o trabalho visava contribuir com a logística da colheita mecanizada, colaborando para a otimização do processo.

Para a execução dos testes computacionais, foi utilizado o pacote *TravelingSalesmanHeuristics* contido na linguagem de programação *Julia*. Os testes foram feitos com os dados de três dias do planejamento diário da usina sucroalcooleira, e comprovaram a eficácia do modelo em gerar soluções otimizadas.

Com a aplicação da heurística, foi possível encontrar a rota mínima a ser percorrida pelas colhedoras, quando há a necessidade de colher a cana-de-açúcar em vários locais. Desta forma, a cooperativa poderá utilizar o modelo para otimizar o seu processo, impactando diretamente na redução de custos inerentes ao consumo de combustível, desgastes dos veículos, além de contribuir com o meio ambiente devido a redução da emissão de CO₂.

Considerando a importância do setor sucroalcooleiro para a economia do país, e a busca constante pela otimização dos processos produtivos, este trabalho mostra o quão é importante a integração entre as universidades e as empresas e o quanto as técnicas aprendidas no meio acadêmico podem trazer soluções relevantes para os principais setores do país.

REFERÊNCIAS

ARENALES, M. et al. **Pesquisa Operacional: Para cursos de Engenharia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006. 531.

CÂMERA, G. M. S.; OLIVEIRA, E. A. M. **Produção de Cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Agricultura; FEALQ, 1993. 252 p.

CARVALHO, M. B. **Aplicações de meta-heurística genética e fuzzy no sistema de colônia de formigas para o problema do caixeiro viajante**. 2007. 78f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

CASTELLUCCI, P. B. *Julia e JuMP: Novas ferramentas para programação matemática*. Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento, São Carlos, v. 9, n. 2, p. 48-61, 2017.

FLEURY, A. et al. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

GAZON, A. L. Canavial Mecanizado. Disponível em: <https://assets.cnhindustrial.com/caseih/LATAM/LATAMASSETS/FarmForum/Revista%20N%2026.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2020.



MARQUES, P. V. Custo de produção agrícola e industrial de cana-de-açúcar e álcool no Brasil na safra 2007/2008. ESAL/USP, Piracicaba, p. 194, 2009.

PEREIRA, J. M.; SIQUEIRA, M. B. B. Linguagem de programação JULIA: uma alternativa open source e de alto desempenho ao MATLAB. In: DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DO IFPB, 34., 2017, João Pessoa. **Proceedings**. João Pessoa: Revista principia, 2017. p. 132-140.

RIPOLI, T. C. C.; PARANHOS, S. B. **Cana-de-açúcar, cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 856 p.

RIPOLI, T. C. C. Ensaio & certificação de máquinas para colheita de cana-de-açúcar. In: MIALHE, L. G. **Máquinas Agrícolas: ensaios & certificação**. Piracicaba: Fundação de Estudos “Luiz de Queiroz”, 1996. cap. 13, p. 635-674.

SANTIAGO, A. D.; ROSSETTO, R. Adubação mineral. **Árvore do conhecimento: cana-de-açúcar**. 2016. Campinas: Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_38_711200516717.html. Acesso em: 22 mar. 2020.

SANTORO, E. **Otimização da rota na colheita mecanizada da cana-de-açúcar**. 2016. 58f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2016.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção: estratégias, métodos e técnicas para condução para pesquisas quantitativas e qualitativas**. 2012. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2012.

CAPÍTULO 5

MODELO PARA O CÁLCULO DE ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE (IS) APLICADO EM ORGANIZAÇÕES AGRÍCOLAS

DOI: 10.47402/ed.ep.c20229155974

Cristiane Romagnoli Tavares Tomaszewski
Stella Alonso Rocha
Andreia Cristina Peres Rodrigues da Costa

RESUMO

Esse estudo tem como objetivo propor modelo matemático capaz de mensurar e analisar a sustentabilidade sob a ótica do tripé da sustentabilidade: ambiental, econômico e social, aplicado à Associação de Fruticultores e Hortigranjeiros de Cruzeiro do Oeste (AFRUHCO) e na Associação Perolense de Fruticultores (FRUTIPÉROLA), ambas produtoras de acerola orgânica. A metodologia aplicada se baseia na proposta de definição de modelo matemático em um cálculo de Índice de sustentabilidade (IS), demonstrado por uma equação capaz de pontuar e classificar arranjos produtivos de diferentes vertentes diante de cinco classificações: não sustentável, pouco sustentável, razoavelmente sustentável, sustentável e altamente sustentável. Como resultado, foi possível comprovar as ações da AFRUHCO, com IS de 71,5 e da FRUTÉRIOLA, com IS de 65 como sustentáveis, ao aplicar as ações das associações nos *scores* estabelecidos pelo Índice. Considera-se a importância de os três eixos da sustentabilidade permanecerem em equilíbrio. Para que todo o processo seja bem-sucedido, é necessário que haja o cumprimento da equidade social, prudência ecológica e a eficiência econômica.

PALAVRAS-CHAVE: Cálculo de sustentabilidade, Tripé da sustentabilidade, AFRUHCO, acerola orgânica.

INTRODUÇÃO

A questão sustentável é composta por vários aspectos, sendo que os modelos teóricos propõem abordagens baseadas em três dimensões: social, econômica e ambiental, denominadas Tripé da Sustentabilidade (Seramim e Lago, 2016; Krajnc e Glavic, 2003). A ambiental se refere ao ecossistema, às agressões antrópicas e naturais e à gestão dos elementos fundamentais ao meio ambiente. A social está relacionada à qualidade de vida (Riquinho e Hennington, 2016). Já a variável econômica está relacionada a crescimento econômico, emprego, renda e geração de lucro, sem prejudicar as demais dimensões da sustentabilidade (Nascimento, 2012).

Desde a década de 70, debates e conferências foram realizados sobre qual a melhor forma de manter em equilíbrio as três dimensões sustentáveis, pois o desenvolvimento econômico dos países faz um contínuo uso dos recursos que, sem nenhuma limitação, prejudica a qualidade de vida da população e leva à escassez de recursos naturais. Na dimensão social,



Sachs (1993) entende que é preciso constituir processos de desenvolvimento sustentável que mitiguem as desigualdades sociais entre ricos e pobres.

É importante destacar que há organizações sustentáveis no Estado do Paraná que se preocupam em manter a sustentabilidade, mas que ainda não mensuram essas ações. Especificamente, a Associação de Fruticultores e Hortigranjeiros de Cruzeiro do Oeste (AFRUHCO) e a Associação Perolense de Fruticultores (FRUTIPÉROLA) são organizações que cultivam a acerola orgânica e comercializam o fruto *in natura*.

A ideia central da sustentabilidade na dimensão econômica está ligada ao processo produtivo, no que se refere a mensurar, monitorar e avaliar os impactos gerados e analisar a maneira correta de minimizar as externalidades da produção ao meio ambiente (Tokos *et al.*, 2012). Desta forma, para que haja uma análise correta da classificação da sustentabilidade, é importante o uso dos indicadores sustentáveis, entretanto, é preciso que eles sejam de fácil entendimento, além de representarem a real situação, de forma rápida e clara, para os tomadores de decisão viabilizarem o planejamento do futuro (Chen *et al.*, 2014).

Para Veleva *et al.*, (2001), os indicadores de sustentabilidade precisam possuir objetivos com pontos chaves para que sejam realizados com sucesso, é necessário que aumentem a consciência e a compreensão dos envolvidos sobre a sustentabilidade, informar a tomada de decisão referente aos resultados obtidos e medir o progresso em direção às metas estabelecidas.

Com base na realidade das associações e nos conceitos de sustentabilidade, a problemática de pesquisa traz como questionamento se é possível mensurar a sustentabilidade da AFRUHCO e da FRUTIPÉROLA, a partir da perspectiva das dimensões sustentáveis, e se é possível determinar um modelo de indicador sustentável que possa ser utilizado em organizações ligadas a agricultura.

Estabeleceu-se como objetivo propor um modelo matemático capaz de mensurar e analisar a sustentabilidade sob a ótica dos três pilares: ambiental, econômico e social, aplicado à Associação de Fruticultores e Hortigranjeiros de Cruzeiro do Oeste (AFRUHCO) e à Associação Perolense de Fruticultores (FRUTIPÉROLA).

Este estudo contribui para que outras organizações ligadas a agricultura possam utilizar o modelo que mesure o grau de sustentabilidade de suas ações, bem como para orientar decisões futuras possam ser melhoradas quanto ao aspecto sustentável.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Aspectos sociais

A realidade dos trabalhadores rurais no Paraná é descrita pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017), onde relata que os resultados na produção agrícola estão concentrados no açúcar e na soja, podendo ter como consequências a má distribuição da riqueza, concentração de terra e baixos níveis de escolaridade, pois ao centralizar o plantio apenas em culturas como a soja e a cana de açúcar, geram uma baixa renda, comparada aos demais produtores. As culturas produzidas pelo Estado, de acordo com o Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (IPARDES, 2018), são milho, trigo, feijão, cevada, centeio, aveia e arroz, e ocupam 2,3% do território nacional. No que se refere a agropecuária, corresponde a 9,8% do PIP do Estado.

Há necessidade de políticas públicas para atender as demandas do pequeno agricultor, pois são esses grupos que necessitam de apoio no que se refere a educação, assistência técnica e acesso a crédito agropecuário. Segundo Doringon, *et al.*, (2005), para que haja a inclusão social da população rural mais pobre, é imprescindível que sejam criados projetos de desenvolvimento com a participação coletiva, pois a participação pode romper o isolamento social dos produtores mais carentes.

Na pobreza, de acordo com Brundtland (1991), as pessoas não conseguem suprir suas necessidades básicas, reduzindo assim sua capacidade de utilizar os recursos de modo sustentável. Por isso, o desenvolvimento sustentável, conforme o autor, precisa atender as necessidades humanas, tanto com relação a produção quanto a equidade em oportunidades.

Desde 1970, as carências básicas são estudadas por Maslow, que descreve a necessidade e motivação do indivíduo em suprir primeiramente suas privações fisiológicas, como a fome e a moradia, e somente posteriormente as coletivas, como por exemplo, a preservação do meio ambiente e a preocupação com as gerações futuras.

Essa realidade atinge os produtores oriundos de pequenas propriedades dos diferentes estados brasileiros, no município de Cruzeiro do Oeste, no Paraná, que com a criação da AFRUHCO possibilitou a inclusão desses produtores de acerola em uma associação, sendo dado o primeiro passo contra o isolamento social, pois o nível de renda, grau de integração no mercado e o tamanho da propriedade são fatores limitadores ao acesso a recursos provenientes de políticas públicas. Desta forma, a união dos produtores, a princípio como produtores da agricultura convencional, fez com que houvesse uma abertura de mercado, facilitando as vendas



e obtenção de crédito, sobrevivendo mesmo em situações difíceis, evitando a marginalização social presente na agricultura familiar (Doringon, *et al.*, 2005).

É possível repensar a ideia de que propriedades patronais sejam mais adequadas para o plantio, pois o agricultor familiar não tendo, em sua maioria, condições financeiras para se adequar a essa forma de plantação, onde há necessidade de aquisição de maquinários e compras de insumos, estaria fadado a marginalização e a pobreza. A forma de cultivo alternativo agregado ao associativismo trouxe uma possibilidade de estabelecer políticas públicas para alcançar o desenvolvimento rural sustentável (Assis, 2006).

Aspectos ambientais

Com o passar dos anos, o homem desenvolveu procedimentos e instrumentos com o objetivo de controlar a natureza, e na agricultura não foi diferente. Ao longo da história, há uma constante tentativa em minimizar a dependência do homem em relação a natureza, com o propósito de aumentar a produção (Hespanhol, 2008).

Baseado na motivação de diminuir a fome, grandes conquistas na agricultura foram feitas para aumentar a produção, como canais de irrigação, adubação nos solos e a invenção de equipamentos. Entretanto, o resultado esperado em mitigar a fome não foi alcançado. Nos séculos XVIII e XIX, inicia-se a utilização de técnicas como a rotação de culturas para se obter maior resultado. A chegada das inovações tecnológicas, já no século XX, como melhoramento genético, utilização de fertilizante e a mecanização no campo, foram responsáveis por obter produções em grande escala, além de abrir portas para que os países em desenvolvimento obtivessem uma autossuficiência alimentar e conseguissem negociar com o mercado externo o excedente na produção. (Hespanhol, 2008).

A modernização da agricultura não trouxe somente mudanças para os pequenos proprietários de terra, mas também implicações ambientais negativas, como o uso desregrado do solo, tanto pela mecanização intensa quanto por agrotóxicos, tendo como congruência a contaminação do solo, da cadeia alimentar e do próprio ser humano (Ehlers, 1999.)

Em 1980, inicia-se o emprego de formas alternativas de produção em meio a uma crise do Estado brasileiro em continuar subsidiando políticas agrícolas e recursos financeiros para a agricultura convencional, somado ao início de um novo comportamento social, que passa a valorizar e a buscar insumos que não agridam ao meio ambiente. Surgem novos mercados, novas oportunidades, como a agricultura orgânica, mesmo com o plantio convencional voltado para as commodities continuar a ser produzido e comercializado (Hespanhol, 2008).



A crescente introdução de valores ambientais nas práticas agrícolas e a preocupação com a maneira sustentável de produção se tornam maior a partir do século XX, e conceitos como o da sustentabilidade ecológica passam a ser definidos. Nesse aspecto, a tecnologia é utilizada para reduzir a poluição, o uso de recursos naturais e para proteção ambiental. E o foco está no uso equilibrado do capital natural somado as atividades produtivas (Sachs, 1993).

A incorporação de conceitos e informações têm mudado a consciência de produtores e consumidores com o passar dos anos. A agricultura orgânica, em sua essência, ressalta a importância da matéria orgânica nos processos produtivos e segue princípios, como o de contribuir para o desenvolvimento local, social e econômico de maneira sustentável (BRASIL, 2003).

A produção orgânica abrange um leque de obrigações que, ao serem cumpridas, incentiva a produção local, o consumo responsável e um comércio justo e ético. Esse tipo de produção exige a conservação do solo, da água e boas práticas no manejo de insetos e pragas.

E nesse processo, a agricultura familiar tem um papel fundamental, pois o resultado final não está apenas focado na maximização de capital e lucro, mas também no ambiental, pois o local de produção é visto como patrimônio familiar (Soares, 2001).

Os produtores da AFRUHCO e da FRUTIPÉROLA optaram por uma produção orgânica não somente pela abertura de mercado e maiores oportunidades de negócio, mas por manter a terra fértil, com condições de plantio para gerações futuras e preservar o seu patrimônio. O patrimônio, para a agricultura familiar, não está relacionado apenas à terra, mas também ao contexto cultural que envolve as gerações de agricultores que sobreviveram e sobrevivem da terra.

Vale ressaltar o grande passo que foi a tomada na decisão de sair de um plantio tradicional para o orgânico. Em todos os pontos benéficos citados, para as associações foi necessário mobilizar os produtores em busca de objetivos comuns, para resgatar o relacionamento do homem com a terra, pesando as vantagens e desvantagens. Assim, houve quebra de barreira cultural e busca por políticas públicas locais para auxiliar o processo.

A partir desse momento, foi essencial orquestrar um envolvimento entre os produtores, os comerciantes e consumidores locais com uma visão sustentável. Esse envolvimento revela interesses comuns e amplia a proposta do desenvolvimento sustentável. Desta forma, não há como desenvolver um sistema agroecológico adequado sem a participação da comunidade local (Assis, 2006).



As Associações, em suas ações, passam a resgatar as práticas ecológicas básicas, sem o uso de insumos agrícolas industrializados, ao adaptar ao plantio da acerola, que tem uma boa capacidade produtiva na região, que não necessita de investimentos elevados e que conserva a biodiversidade local. Essa escolha atende à demanda social, ecológica e econômica dos produtores envolvidos (Assis, 2006).

Aspectos econômicos

O eixo econômico na sustentabilidade também envolve os processos de produção e consumo, entretanto nos remete a um parecer diferente da função produção, composta apenas por capital e trabalho, pois inclui os recursos naturais como elementos da produção. As famílias e as empresas, ao consumir ou produzir, cerceiam os recursos naturais, havendo uma externalidade negativa sobre o capital natural. As atividades econômicas geram subprodutos que poluem o meio ambiente e geram indiretamente efeitos sociais, econômicos e ambientais (Boechat, 2018).

É importante compreender que os recursos naturais cedem ao homem os materiais e a energia, sendo visto como o fornecedor de recursos necessários para o desenvolvimento da vida. Entretanto, o meio ambiente é utilizado em seu máximo como absorvedor de resíduos. E nesse ponto, é possível lembrar das leis da termodinâmica, onde a energia não pode ser criada ou destruída, mas transformada (Bellia, 1996).

Cavalcanti (2001) diz que é necessário defender a sustentabilidade como algo ético e inclui-la na economia que é composta por recursos naturais e não somente como um bem de capital, que pode ser explorado de forma infinita. É imprescindível perceber a relação entre a economia e o capital natural, pois Boechat (2018) afirma que há três finalidades para o capital, prover recursos ao sistema produtivo, absorver os detritos causados pelo consumo e produção e fornecer condições necessárias que possibilitem a vida no planeta.

A partir desse ponto, percebe-se a forma como o mercado funciona, podendo incluir mais um elemento, o consumidor. A forma de consumir influencia diretamente como será a produção, a quantidade e a qualidade de recursos naturais utilizados. Preferência por produtos gerados de forma sustentável e de origem local pode gerar uma necessidade de investimento em uma cadeia de fornecimento segura.

As formas alternativas de produção entram como solução para a diminuição da geração de resíduos no planeta. Na questão alimentar, vale ressaltar que o agronegócio representa 30% do PIB nacional, um terço do volume das exportações e a cada ano gera mais empregos (MDA,



2006). A agricultura familiar precisa alcançar novos níveis de qualidade e novas escalas de produção, Vilpoux e Oliveira (2011) enfatizam que existe essa possibilidade, desde que haja ações coletivas para integrar o produtor em cadeia com maior valor agregado ao produto.

Brown (2009) defende que a sustentabilidade das organizações está diretamente ligada à ambiental, pois existe a geração de resíduos e impactos no ecossistema. Desta forma, as organizações têm integrado as variáveis econômicas com as ambientais. Assim, o uso de grandezas que mensurem o uso dos recursos naturais e os impactos das atividades produtivas é de extrema importância para entender o papel de cada um na sustentabilidade.

MÉTODO DE PESQUISA

A metodologia aplicada baseia-se na proposta de definição de um modelo matemático capaz de pontuar e classificar arranjos produtivos de diferentes vertentes diante da sustentabilidade, embasada nos estudos das dimensões ambientais, econômicas e sociais em duas associações de produção orgânica no Estado do Paraná.

Cálculo do modelo para mensurar o índice de sustentabilidade (IS)

O cálculo do modelo para mensurar o Índice de Sustentabilidade (IS) em associações ou organizações envolvidas com a agricultura, que nessa pesquisa utilizou como modelo a AFRUHCO e a FRUTIPÉROLA e foi mensurado variando entre 0 e 100, desta forma, quanto melhor o aproveitamento dos recursos e menor o impacto ambiental maior será o índice de sustentabilidade, ou seja, mais sustentável é a organização avaliada.

Esse método foi formulado diante da definição do próprio Tripé da Sustentabilidade, ambiental ($IS_{ambiental}$), econômico ($IS_{econômico}$) e social (IS_{social}). O cálculo de IS utilizado está apresentado na equação 1, considerando o mesmo peso para as grandezas.

$$IS = IS_{ambiental} + IS_{econômico} + IS_{social} \quad (1)$$

O valor do IS é a soma do tripé da sustentabilidade citado na equação 1, e será mensurado quanto mais próximo de 100, maior o indicador de sustentabilidade, quanto mais próximo de 0, menor o indicador de sustentabilidade. O indicador está dentro do intervalo $0 < IS \leq 100$.

Classificação dos intervalos $0 < IS \leq 100$

Para os intervalos de classificação do IS, optou-se por escolher o critério de indicativos para as organizações como não sustentáveis, pouco sustentável, razoavelmente sustentável,

sustentável e altamente sustentável, adaptado e reformulado da metodologia de Brown e Ulgiati (1997), cujos intervalos de classificação ficam assim definidos:

Quadro1: Definição da classificação dos intervalos

$0 < IS \leq 20$	Não sustentável
$20 < IS \leq 40$	Pouco sustentável
$40 < IS \leq 60$	Razoavelmente sustentável
$60 < IS \leq 80$	Sustentável
$80 < IS \leq 100$	Altamente sustentável

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Definição dos *scores* específicos para as atividades sustentáveis

Para as atividades ambientais, os tipos estão subdivididos em solo, água e ar e foram considerados sustentáveis na questão ambiental os que mantiverem a preservação dos três elementos. As atividades sociais estão relacionadas com a qualidade de vida e as atividades econômicas em gerar crescimento econômico, emprego, renda e gerar lucro sem prejudicar as demais dimensões da sustentabilidade, como alta geração de resíduos em consequência do sistema produtivo. Nesta proposta definem-se *scores* específicos para diferentes atividades definidos como ambientais (equação 2), econômicas (equação 3) e sociais (equação 4).

$$IS_{ambiental} = \sum_{n=1}^{22} atividade\ ambiental \quad (2)$$

$$IS_{econômico} = \sum_{n=1}^9 atividade\ econômica \quad (3)$$

$$IS_{social} = \sum_{n=1}^7 atividade\ social \quad (4)$$

Em que $n = tipo\ de\ atividade$, descritas nos quadros 2, 3 e 4.

Como ponto de corte para as atividades, utilizou-se a metodologia adaptada e reformulada de Di Agustini, *et al.*, (2018), onde o valor máximo será 5 e o mínimo -5, classificando conforme a complexidade das ações para manter a sustentabilidade. Como definição de máximo e mínimo foi dividido em três pensamentos sobre os recursos, pois existem os recursos que são retirados do ambiente e têm capacidade de renovação temporal e espacial mais rápida do que o seu consumo, há os que são armazenados na natureza, porém seu consumo é mais rápido do que a sua capacidade de renovação, e também os que não podem ser repostos. Quanto ao social e ao econômico, aqui serão pontuados como máximo e mínimo todas as atividades que possam prejudicar a sobrevivência do ser humano em equilíbrio com o meio ambiente.

O Quadro 2 apresenta as possibilidades de atividades ambientais e seus respectivos scores.

Quadro 2: Atividades ambientais e seus respectivos scores.

Tipo de atividade	n	Atividade	Score
Solo	1	Integração lavoura-pecuária-floresta	4,0
	2	Descarte correto de embalagens	1,5
	3	Queimadas controladas na agricultura	0,5
	4	Adubação verde, orgânica e calagem	5,0
	5	Florestamento e reflorestamento	5,0
	6	Recuperação de pastagens	3,0
	7	Manejo integrado de pragas	5,0
	8	Diversidade de culturas	5,0
	9	Sistema plantio direto	4,0
	10	Uso de defensivos químicos	-4,0
	11	Cordões de vegetação permanente, barreiras vivas ou faixas de retenção	5,0
Água	12	Água de reuso	5,0
	13	Captação água da chuva	4,0
	14	Despoluição da água utilizada	5,0
	15	Descarte de resíduos e fertilizantes agrícolas	-5,0
	16	Saneamento básico	3,0
Ar	17	Vegetação nativa	5,0
	18	Queima de combustíveis fósseis ou de biomassa	-3,0
	19	Veículos automotores	-1,5
	20	Queimadas controladas na agricultura e no gerenciamento de florestas	0,5
	21	Decomposição dos resíduos orgânicos, que gera metano	1,0
	22	Emissão de amônia pelo uso de fertilizantes	-3,0

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Como parâmetro de igual relevância, as atividades econômicas são significativas para o cálculo de IS. O Quadro 3, apresenta essas atividades e seus scores.

Quadro 3: Atividades econômicas e seus respectivos scores.

Tipo de atividade	n	Atividade	Score
Econômica	1	Geração de emprego e renda	5,0
	2	Uso de fontes de energia limpa e renovável	5,0
	3	Tratamento de resíduos orgânicos e materiais gerados no processo produtivo	4,5
	4	Uso de forma racional a energia elétrica e da água	4,0
	5	Atividades geradas pelo associativismo/cooperativismo	4,5
	6	Alto custo operacional e despesas	-1,0
	7	Tratamento adequado a todos os poluentes gerados na produção de mercadorias e serviços	4,5
	8	Gasto com auditorias	1,0
	9	Resultado positivo em produtividade	5,0

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

O quadro 4, apresenta as atividades sociais elencadas, representativas do último pilar da sustentabilidade, porém não menos importante.

Quadro 4: Atividades sociais e seus respectivos scores.

Tipo de atividade	n	Atividade	Score
Social	1	Melhora da qualidade de vida	5,0
	2	Aumento da renda	4,0
	3	Prática da agricultura familiar	4,5
	4	Diminuição do êxodo rural na região	3,0
	5	Existência de políticas públicas	2,5
	6	Diminuição da violência	2,0
	7	Baixa desigualdade social	4,0

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

As atividades foram identificadas por meio da revisão da literatura, onde os autores são citados no quadro abaixo:

Quadro 5: Referências das atividades ambientais, econômicas e sociais.

Atividades	Referências
Solo	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável- ODS 15; IBD – Certificações (2018)
Água	United Nations World Water Assessment Programme –WWAP (2014); Di Agustini, C. A. <i>et al.</i> (2018)
Ar	ODS 13; Norma Brasileira ABNT NBR ISSO 14031:2004
Econômica	Corazza (2003); Oliveira Neto <i>et al.</i> , (2015), Chen <i>et al.</i> , (2014); ODS 8; ODS 12; Krajnc e Glavic (2003)
Social	ODS 16; Krajnc e Glavic (2003); Erol <i>et al.</i> (2009) e Greiner (2001) Azapagic (2003) e Labuschagne <i>et al.</i> (2005); IBD –Certificações (2018)

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Modelo proposto

O modelo proposto traz a possibilidade de mensurar a sustentabilidade da AFRUHCO, a associação está localizada no município de Cruzeiro do Oeste, composta por 27 produtores orgânicos de acerola, totalizando uma área de 35 ha, com a produção de 573,515 toneladas ao ano. E ainda, para engrandecer essa pesquisa, o modelo de indicador sustentável foi utilizado para mensurar uma cooperativa de orgânicos, produtora de acerola da mesma região da AFRUHCO, a Associação Perolense do Fruticultores – FRUTIPÉROLA, é uma cooperativa composta por 35 produtores orgânicos de acerola, totalizando uma área de 55 ha, localizada no

município de Pérola, estado do Paraná, com uma produção de 403,123 toneladas ao ano. Os critérios foram pensados conforme Prodanov e Freitas (2013), no qual o pesquisador pode selecionar os elementos aos quais tenha acesso, admitindo que eles possam representar o universo. Após a escolha, foi entregue para o diretor de cada associação o quadro de atividades sem os *scores* e solicitado que fosse marcado um X nas atividades executadas nas rotinas diárias, com o objetivo de comparar os resultados obtidos com o IS de cada organização. O conjunto final de indicadores das atividades totalizaram 38, distribuídos em ambiental (22), econômico (9) e social (7), citados nos quadros 6, 7 e 8.

RESULTADOS DA PESQUISA

Adotar práticas sustentáveis com foco nos aspectos ambientais, sociais e econômicos, tem sido o diferencial para as organizações, Lee e Saen (2012). Na Sustentabilidade Agrícola, como a praticada pela AFRUHCO, são técnicas utilizadas para o cultivo, por diferentes objetivos, como para obtenção de alimentos, fibras, energia, matéria-prima para roupas, construções, medicamentos e ferramentas.

Os quadros abaixo, 6, 7 e 8 apontam as práticas exercidas no cotidiano da AFRUHCO e da FRUTIPÉROLA, que são as mesmas atividades demonstradas nos quadros 2, 3 e 4.

Quadro 6: Respostas das atividades ambientais praticadas pela AFRUHCO e pela FRUTIPÉROLA.

Tipo de atividade	n	Atividade	Prática da Atividade		Pontuação	
			AFRUHCO	FRUTIPÉROLA	AFRUHCO	FRUTIPÉROLA
Solo	1	Integração(lavoura, pecuária e floresta)				
	2	Descarte correto de embalagens	X		1,5	
	3	Queimadas controladas na agricultura				
	4	Adubação verde, orgânica e calagem	X	X	4,0	5,0
	5	Florestamento e reflorestamento				
	6	Recuperação de pastagens				
	7	Manejo integrado de pragas	X	X	5,0	5,0
	8	Diversidade de culturas		X		5,0
	9	Sistema plantio direto	X	X	4,0	4,0
	10	Uso de defensivos químicos				
	11	Cordões de vegetação permanente, barreiras vivas ou faixas de retenção	X	X	5,0	5,0

Água	12	Água de reuso				
	13	Captação água da chuva				
	14	Despoluição da água utilizada				
	15	Descarte de resíduos e fertilizantes agrícolas				
	16	Saneamento básico	X		4,0	
Ar	17	Vegetação nativa	X		5,0	
	18	Queima de combustíveis fósseis ou de biomassa				
	19	Veículos automotores	X	X	-1,5	-1,5
	20	Queimadas controladas na agricultura/gestão de florestas				
	21	Decomposição dos resíduos orgânicos, que gera metano				
	22	Emissão de amônia pelo uso de fertilizantes				
TOTAL					27	22,5

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Quadro 7: Respostas das atividades econômicas praticadas pela AFRUHCO e pela FRUTIPÉROLA.

Tipo de atividade	n	Atividade	Prática da Atividade		Pontuação	
			AFRUHCO	FRUTPÉROLA	AFRUHCO	FRUTIPÉROLA
Econômica	1	Geração de emprego e renda	X	X	5,0	5,0
	2	Uso de fontes de energia limpa e renovável				
	3	Tratamento de resíduos orgânicos e materiais gerados no processo produtivo				
	4	Uso de forma racional a energia elétrica e da água	X	X	4,0	4,0
	5	Atividades geradas pelo associativismo/cooperativismo	X	X	4,5	4,5
	6	Auto custo operacional e despesas				
	7	Tratamento adequado a todos os poluentes gerados na produção de mercadorias e serviços				
	8	Gasto com auditorias	X	X	1,0	1,0

	9	Resultado positivo em produtividade	X	X	5,0	5,0
TOTAL					19,5	19,5

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Quadro 8: Respostas das atividades sociais praticadas pela AFRUHCO e pela FRUTIPÉROLA.

Tipo de atividade	n	Atividade	Prática da Atividade		Pontuação	
			AFRUHCO	FRUTIPÉROLA	AFRUHCO	FRUTIPÉROLA
Social	1	Melhora da qualidade de vida	X	X	5,0	5,0
	2	Aumento da renda	X	X	4,0	4,0
	3	Prática da agricultura familiar	X	X	4,5	4,5
	4	Diminuição do êxodo rural na região	X	X	3,0	3,0
	5	Existência de políticas públicas	X	X	2,5	2,5
	6	Diminuição da violência	X		2,0	
	7	Baixa desigualdade social	X	X	4,0	4,0
TOTAL					25	23

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Com as respostas obtidas, foi possível ter o resultado do IS representado pela equação 1, e somou-se cada valor definido pelos *scores* de cada atividade praticada, tanto pela AFRUHCO quanto pela FRUTIPÉROLA, em consonância com as equações 2, 3 e 4.

Desta maneira ao aplicar os valores na equação 1, nas atividades da AFRUHCO, foi gerado o IS de 71,5, onde $IS = 27 + 19,5 + 25$; $IS = 71,5$, estando classificado no intervalo, $60 < IS \leq 80$, classificado no quadro 1, como sustentável.

Ao aplicar os valores na equação 1, nas atividades da FRUTIPÉROLA, foi gerado o IS de 65, onde $IS = 22,5 + 19,5 + 23$; $IS = 65$, estando classificado no intervalo, $60 < IS \leq 80$, classificado no quadro 1, como sustentável.

Apesar de ambas as associações realizarem o cultivo orgânico, existem divergências em algumas práticas das atividades diárias. A AFRUHCO teve uma pontuação maior do que a FRUTIPÉROLA nas atividades ambientais, por possuir saneamento básico nas propriedades, realizar o descarte correto das embalagens e preservar a vegetação nativa. E nas questões sociais, por acreditar que influencia positivamente na diminuição da violência na região, devido a gerar emprego e renda para as famílias produtoras de acerola orgânica.



ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O resultado do IS demonstrou que a AFRUHCO é uma associação com práticas sustentáveis, esse fato é de grande relevância, pois o plantio orgânico exige o cuidado ambiental na produção, mas nem sempre somente essa atitude é suficiente para atingir todas as dimensões da sustentabilidade. Desta forma, ao detectar a sustentabilidade de uma organização, está subentendido que os aspectos ambiental, econômico e social estão inclusos.

O resultado mensurado pelo IS no aspecto social da AFRUHCO se deve à inclusão social com a formação da associação como principal fator motivacional para o crescimento e fortalecimento como grupo, tendo como resposta a melhora na produção de acerola no Estado em 2017, a qual foi de 3.157,622 toneladas, das quais 573,515 toneladas são do município de Cruzeiro do Oeste, produzidos pela AFRUHCO (IBGE, 2017). De acordo com Vilpoux (2011), a sustentabilidade da agricultura familiar no contexto global e a unidade de produção não podem ser analisadas de forma separada. Conforme o autor sustentabilidade familiar não está ligada somente a sobrevivência do produtor, mas está ligada a preservação do meio ambiente e ao acesso a uma vida digna. E vai além, pois existe ainda a somatória em atender a alimentação da população com qualidade e de forma ética.

No caso da FRUTIPÉROLA as atividades sociais ultrapassam as ambientais e econômicas, fortalecendo não só o fato do importante papel do associativismo ou cooperativismo na inclusão social das famílias produtoras, como também a melhora na qualidade de vida para ambas

Ao conseguir resultados positivos na produtividade ao longo dos anos de forma sustentável, a AFRUHCO se enquadra no modelo em sustentabilidade, e com o uso do IS foi possível visualizar as ações sustentáveis praticadas atualmente, e assim, informar dados para as decisões futuras que possam influenciar e medir o progresso em direção às próximas metas estabelecidas conforme o *Triple Bottom Line*.

A pesquisa apontou que tanto a AFRUHCO com o resultado obtido pelo IS de 71,5 e a FRUTIPÉROLA com o resultado pelo IS de 65 são consideradas sustentáveis pelo modelo proposto de cálculo de índice de sustentabilidade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O resultado dos cálculos aplicados ao modelo matemático de Índice de Sustentabilidade (IS), tendo como parâmetro de estudo a AFRUHCO e a FRUTIPÉROLA, consideradas



sustentáveis, demonstram que esse modelo traz a possibilidade de mensurar a sustentabilidade em organizações ligadas a diferentes vertentes de produção agrícola a partir da perspectiva das dimensões da sustentabilidade, com a aplicação da somatória às atividades embasadas nos scores apresentados como modelo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Assis, L. de. (2006). Desenvolvimento rural sustentável no Brasil: Perspectivas a partir da integração de ações públicas e privadas com base na agroecologia. *Economia Aplicada*. Ribeirão Preto, v.10, n.1, 75-89. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-80502006000100005>.

Azapagic, A. (2003). System approach to corporate sustainability: a general framework. *Institution of Chemical Engineers*, 81(5), 303-316. <https://doi.org/10.1205/095758203770224342>.

Bellia, V. (1996). *Introdução a Economia do Meio Ambiente*. Brasília: Ibama.

Boechat, A. M. F. da. (2018). *Economia e Sociedade*. Maringá: Unicesumar.

Brasil. *Lei nº 10.831, de 23 de dezembro de 2003*(2003). Dispõe sobre a agricultura orgânica e dá outras providências. Brasília: DOU de 24/12/2003. Recuperado de <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2003/L10.831.htm> .

Brown, L. R. (2009). *Plano B 4.0: mobilização para salvar a civilização*. São Paulo: New Content.

Brown, M. T., & Ulgiati, S. (1997). Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation. *Ecological Engineering*, 9(1-2), 51- 69. [http://dx.doi.org/10.1016/S0925-8574\(97\)00033-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0925-8574(97)00033-5).

Brundtland, G. H. (1991). *Nosso futuro comum*. Rio de Janeiro: FGV.430p.

Cavalcanti, A. P. B. (2001). Sustentabilidade ambiental como perspectiva de desenvolvimento. *Revista Internacional Interdisciplinar Interthesis*, Florianópolis, v. 8, n. 1, p. 219-237. <https://doi.org/10.5007/1807-1384.2011v8n1p219>.

Chen, D.; Thiede, S.; Schudeleit, T.; Herrmann, C. (2014). A holistic and rapid sustainability assessment tool for manufacturing SMEs. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 63, 437-440. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2014.03.113>.

Corazza, R. I. (2003). Gestão ambiental e mudanças da estrutura organizacional. *Revista de Administração de Empresas, RAE* [online], vol.2, n.2. <http://dx.doi.org/10.1590/S1676-56482003000200006>.

DiAugustini, C. A.; Giannetti, B. F. (2018). Avaliação de variáveis de sustentabilidade ambiental nas empresas de abastecimento de água e saneamento listadas na BM&FBOVESPA. *Gestão & Produção*. São Carlos, v. 25, n. 4, p. 792-806. <https://doi.org/10.1590/0104-530X3459-17>.



Dorigon, C. *et al.* (2005). Agricultores pobres: invisíveis do campo. In BRUMER, Anita; PIÑEIRO, Diego. (Orgs.) *Agricultura latino-americana: novos arranjos e velhas questões*. Porto Alegre: Editora da UFRGS, p.85-106.

Ehlers, E. (1999). *Agricultura sustentável: origens e perspectivas de um novo paradigma*. 2. ed. Guaíba: Agropecuária, 157 p.

Erol, I.; Cakar, N.; Erel, D.; Sari, R. (2009). Sustainability in the Turkish Retailing Industry. *Sustainable Development*, 17(1), 49-67. <https://doi.org/10.1002/sd.369>.

GRI – *Global Reporting Initiative*. (2013). *Diretrizes para Relato de Sustentabilidade*. Recuperado de <<https://www.globalreporting.org/Pages/default.aspx>>.

Greiner, T. J. (2001). *Indicators of Sustainable Production: A Case Study on Measuring Sustainability at Stonyfield Farm, Inc.* Lowell Center for Sustainable Production. Recuperado de <<http://www.sustainableproduction.org/about.what.php>>.

Hespanhol, R.A.M.de. (2008). “ Agroecologia: limites e perspectivas”. In: Alves, A.F.; Carrijo, B. R.; Candioto, L.Z.P. *Desenvolvimento territorial e agroecologia*. São Paulo: Expresso Popular, p.117-136.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística- IBGE. (2017). Censo Agro-2017. Recuperado de https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/pdf/PR.pdf.

IBD Certificações (2018). Diretrizes para o padrão de qualidade orgânico IBD, 27ª Edição, novembro, Botucatu.

Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social- IPARDES. (2018). Perfil avançado do município de Cruzeiro do Oeste. Recuperado de: http://www.ipardes.gov.br/perfil_municipal/MontaPerfil.php?codlocal=346&btOk=ok.

Krajnc, D.; Glavic, P. (2003) *Indicators of sustainable production. Clean Technology Environmental Policy*, 5, 279-288. <https://doi.org/10.1007/s10098-003-0221-z>.

Labuschagne, C.; Brent, A. C.; Erck, R. P. G. V. (2005). Assessing the sustainability performances of industries. *Journal of Cleaner Production*, 13, 373-385. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2003.10.007>

Lee, K.; Saen, R. F. (2012). Measuring corporate sustainability management: A data envelopment analysis approach. *International Journal of Production Economics*, 140(1), 219-226. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.08.024>.

Leonard, A. (2011). *A história das coisas: da natureza ao lixo, o que acontece com tudo que consumimos*. Rio de Janeiro: Zahar. Recuperado de: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/613741/mod_resource/content/1/Leonard_2011_A_historia_das_coisas.pdf.

Maslow, A. H. (1970) *Motivation and personality*. 2. ed. New York, Harper e Row, 369 p.

Ministério do Desenvolvimento Agrário-MDA. (2006) *Estatísticas do meio rural*. Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos: Núcleos de Estudos Agrários e Desenvolvimento Rural. 2 Ed., Brasília: MDA: DIEESE, 276p.



Nascimento, G.F. (2012) *O mercado de produtos orgânicos em Silvânia - GO: um estudo de caso*. 57 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Produção Sustentável), Setor de Ciências Biológicas, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia. Recuperado de: <http://tede2.pucgoias.edu.br:8080/handle/tede/2510>.

Nascimento, E. P. (2012) Trajetória da sustentabilidade: do ambiental ao social, do social ao econômico. *Estudos Avançados*, v.26, n.74.

Norma Brasileira ABNT NBR ISO 14031:2004, (2204). Gestão Ambiental -Avaliação de desempenho ambiental- Diretrizes. ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. Recuperado de <http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasghislaine/abnt-nbr-iso-14031.pdf>.

Oliveira Neto, G. C. de. *et al*; (2015). Princípios e ferramentas da produção mais limpa: um estudo exploratório em empresas brasileiras. *Gestão e Produção*, [online]. vol.22, n.2, pp.326-344. <http://dx.doi.org/10.1590/0104-530X1468-14>.

ONUBR. 17 objetivos para salvar o mundo. (s.d). Nações Unidas no Brasil. Recuperado de <https://nacoesunidas.org/pos2015/>.

Prodanov, C. C.; Freitas, E. C. de. (2013). *Metodologia do trabalho científico: Métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico*. 2. ed. Novo Hamburgo: Editora Feevale. Recuperado de: <<http://www.feevale.br/Comum/midias/8807f05a-14d0-4d5b-b1ad-1538f3aef538/E-book%20Metodologia%20do%20Trabalho%20Cientifico.pdf>>.

Riquinho D.L, Hennington E.A, (2016), Sistema integrado de produção do tabaco:

Saúde, trabalho e condições de vida de trabalhadores rurais no Sul do Brasil. *Caderno Saúde Pública*. vol.32 no.12 Rio de Janeiro. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-311x00072415>.

Sachs, I. (1993), *Estratégias de transição para o século XXI: Desenvolvimento e Meio Ambiente*. São Paulo: Studio Nobel - Fundação do Desenvolvimento Administrativo.

Sachs, I. (2004), *Desenvolvimento: incluyente, sustentável, sustentado*. Rio de Janeiro: Garamond.

Seramim, R. J.; Lago, S. M. S. (2016), Estudo das publicações sobre sustentabilidade em pequenas propriedades rurais no período de 2005 a 2015. *Estudos Sociedade e Agricultura*, Rio de Janeiro, n. 24, v. 1, p. 113-141.

Soares, A.C. (2001), A multifuncionalidade da agricultura familiar. *Revista Proposta*, n.87, ano29. Rio de Janeiro: FASE, p.40-49.

Tokos, H.; Pintaric, Z. N.; Krajnc, D. (2012). An integrated sustainability performance assessment and benchmarking of breweries. *Clean Technologies Environmental Policy*, 14, 173-193. <https://doi.org/10.1007/s10098-011-0390-0>.

United Nations World Water Assessment Programme – WWAP. (2014). *The United Nations World Water Development Report: water and energy*. Paris, UNESCO. Recuperado de <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap>.



Veleva, V.; Hart, M.; Greiner, T.; Crumbley, C. (2001). Indicators os sustainable production. *Journal of Cleaner Production*, 9(5), 447-452, 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0959-6526\(01\)00004-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0959-6526(01)00004-X).

Vilpoux, O.F.; Oliveira, M. A. C. de, (2011) “ Governanças na agricultura familiar: mercados contratos, redes e cooperativismo”. In: VILPOUX, O.F. *Sustentabilidade e Agricultura familiar*. Curitiba: CRV, p.191-226.

CAPÍTULO 6

REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE A APLICAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EM SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO AGRÍCOLA

DOI: 10.47402/ed.ep.c20229166974

Jéssica Soraia Souza Macedo
Ellis Ângela Barbosa de Araújo Simões
Siomara D. da Rocha

RESUMO

Este artigo tem como objetivo ressaltar os benefícios para agricultura através da irrigação, destaca-se os mecanismos de fontes renováveis de energia utilizados em outros países como Europa Meridional assim como em alguns países banhados pelo mediterrâneo. Estudos realizados apontam um crescimento significativo da produtividade nestes países, os recursos usados são fontes de energia renováveis, sem agredir o meio ambiente. O recurso mais usado foi o sistema chamado Off Grid, este permite utilizar a luz do sol como fonte de energia, a luz sol transformada em eletricidade através de painéis solares, portanto identifica-se vantagens econômicas e ambientais com a implantação deste recurso pouco utilizado em nossa região. Para ser elaborado este artigo foi utilizado pesquisas em artigos científicos, websites, realizadas abordagem teórica quali-quantitativa. Portanto, identifica-se vantagens econômicas e ambientais com a implantação deste recurso pouco utilizado em nossa região. Com base na revisão sistemática da literatura foi identificado que o emprego de tecnologias associadas a agricultura tradicional é uma ferramenta que colabora para o seu crescimento.

PALAVRAS CHAVE: Irrigação; Sistema Off Grid; Agrícola; Energia.

INTRODUÇÃO

O crescimento demográfico mundial trouxe consigo uma exorbitante utilização dos recursos naturais disponíveis e a progressão antrópica em lugares ainda não habitados e também o aumento da poluição ambiental. Atualmente existe uma grande preocupação em torno das decorrentes atividades industriais, muitos debates em reuniões políticas internacionais visam atenuar os efeitos causados ao meio ambiente. A probabilidade da ocorrência dos efeitos difusos da poluição em eventos não programados, tais como: derramamentos, vazamentos e emissões não controlados de gases de efeito estufa merecem um pouco mais de atenção das autoridades competentes (Bomann *et al.* 2015; Bagherian and Mehranzamir, 2020).

O Brasil tem a sua matriz energética composta por unidades geradoras do tipo: hidráulica, a gás natural, derivados de petróleo, nuclear, eólica, com origem na biomassa, carvão, solar, à lenha segundo dados do Balanço Energético Nacional - BEN (2019), realizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Conforme o mesmo relatório, a energia solar - juntamente com a energia eólica – foi responsável pelo acréscimo de 1,4% da oferta interna de energia (que é o total de energia disponível no país) fazendo com que esse índice chegasse aos



valores de 294 Mtep (Mega Toneladas Equivalentes de Petróleo). Esse fato levou o Brasil se manter em um patamar renovável bastante avançado com relação ao resto do mundo (EPE, 2019).

A maior parte da geração de energia elétrica em 2019 veio do sistema hidráulico (64,9%), seguido pela produção de gás natural (9,3%). A contribuição das fontes renováveis de energia cresceu e bateu a meta de 83% na matriz elétrica brasileira no ano de 2019 que teve oferta interna de 14,9TWh. Com relação somente a energia solar, houve um avanço de 92,2% no ano de 2019 em contraste ao ano anterior indicando a produção de 572 Mtep, enquanto que em 2018 foram produzidos apenas 298 Mtep. Isso configura o percentual de 2,8% no fornecimento energético das fontes renováveis na matriz energética brasileira (Abrell, Rausch and Streitberger, 2019; Liu *et al.* 2020).

O sistema de irrigação proporciona um aumento na produção agrícola no Brasil, a implantação de sistemas alternativos para complementar a energia, ajuda diminuir os custos com a unidade distribuidora, o sistema usado para irrigação proporciona um aumento expressivo na produção de grãos no que refere às matrizes utilizadas On Grid, um sistema integrado a rede de distribuição de energia elétrica, a rede concessionária funciona como um conjunto de baterias para armazenamento de eletricidade, recebendo o que excede e abatendo no valor do custo final do usuário, e o sistema Off Grid, cujo destaque é para regiões isoladas onde consiste em um funcionamento de um sistema fechado ou não conectado a rede elétrica, portando não necessita de um sistema integrado para funcionar, que se faz necessário utilizar um modo de armazenamento de eletricidade devido à necessidade de utilização de um conjunto de baterias. No entanto, quando não for necessário o uso da energia elétrica armazenada, os equipamentos operam em corrente contínua (Aves, 2019).

Aproveitando a alta demanda por fontes renováveis de energia e o crescimento da produção de energia elétrica solar este artigo objetiva mostrar a aplicação de fontes renováveis de energia em sistemas de irrigação agrícolas. Contribuindo para a visualização do atual panorama tecnológico aplicando sistemas fotovoltaicos para a construção de dispositivos eletrônicos mais duradouros e resistentes, visando a redução de impacto ambiental, otimização e melhor aproveitamento de tecnologias já utilizadas na Indústria 4.0.

METODOLOGIA APLICADA

A revisão sistemática foi realizada mediante critérios de seleção previamente estabelecidos. A pesquisa se norteou sobre mecanismos de fontes renováveis de energia e suas propriedades, placas fotovoltaicas, energias limpas, células solares. A pesquisa foi caracterizada pela abordagem quali-quantitativa.

Conforme sugerido como tema norteador nesta pesquisa uma das primeiras questões a serem respondidas, antes do início da análise dos mecanismos de aplicação de fontes renováveis de energia elétrica, é “Quais os problemas decorrentes da falta de um sistema automatizado de irrigação agrícola? Além de possíveis aplicações de placas fotovoltaicas, principalmente em termos de custo/benefício visando a redução das altas tarifas de energia elétrica? Será possível haver a popularização de fontes alternativas de energia, principalmente para a população rural, residente nas periferias das grandes cidades ou nas pequenas e médias cidades do interior?”

Para tal investigação serão adotadas as seguintes bases de dados eletrônicas: “*Web of Science*”, “*Science Direct*” e “*Scielo*”. Os descritores foram combinados entre si, onde foi realizada a seleção dos estudos em concordância com as perguntas norteadoras, de acordo com os critérios de elegibilidade previamente estabelecidos: adequação ao problema de estudo, ensaio ou desenho experimental publicados em inglês nos últimos 5 anos (2016-2021). Com o auxílio do gerenciador de referências “*Mendeley Desktop 1.19.4*” foram excluídos os artigos duplicados bem como as publicações que não se enquadravam na temática do estudo.

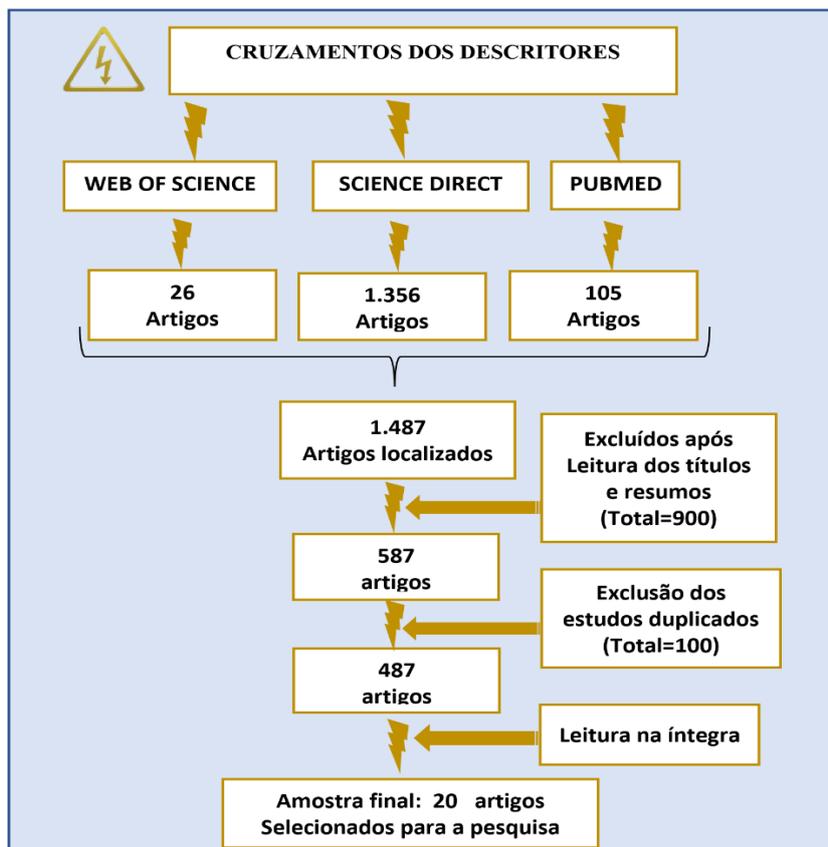
RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análise sistemática das bases de dados

Nas bases de dados pesquisadas foram encontrados um total de 1.487 artigos, dos quais 100 foram excluídos por estarem duplicados, 900 foram excluídos por não se adequarem ao problema da pesquisa e 487 artigos foram selecionados para leitura e análise qualitativa. O Quadro 1 apresenta as etapas da análise sistemática.

Foi realizada a correlação entre as possíveis causas que justificariam esta pesquisa em um contexto mais amplo, com aspectos da aplicação de sistemas fotovoltaicos em projetos de irrigação agrícolas e a grande mudança em termos de inovação tecnológica, aplicando uma abordagem com pegada ecológica digital visando o caráter sustentável, focando-se mais precisamente na compreensão e na explicação das interações de células solares e a questão de resistência e durabilidade do material, bem como o seu grau poluidor.

Quadro 1. Descrição dos processos de busca, seleção e inclusão dos trabalhos científicos na revisão sistemática.



Fonte: Macêdo, Jessica 2021

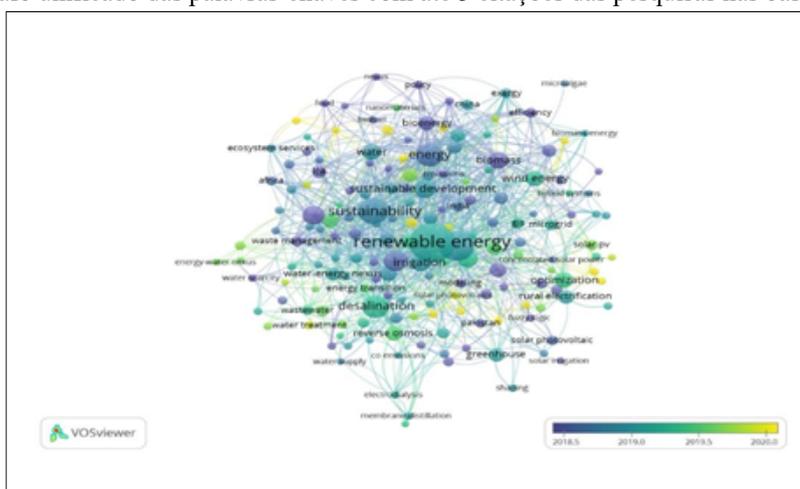
Estado da arte no brasil e no mundo

Esta revisão sistemática analisou a evolução do campo de pesquisa em obtenção, processamento, aplicações e rastreou o desenvolvimento dos temas da pesquisa e revelou a evolução da rede de pesquisa através de análise da literatura central e periódicos que aparecem de 2016 a 2021. A pesquisa girou em torno do uso fontes renováveis de energia e suas propriedades, energias limpas, placas fotovoltaicas, células solares e sistemas de irrigação agrícolas. Também foi utilizada a ferramenta *VOSviewer versão 1.6.13*. para visualizar a rede de dados. Primeiramente foram importados os dados das bases em formato (.ris): “*Web of Science*”, “*Science Direct*” e “*Pubmed*” para o Mendeley Desktop 1.19.4 e através da análise bibliométrica e de rede foi criado um sistema quantitativo de imagem da evolução de campo e da comunidade de pesquisa que nos forneceu uma visão geral sustentada e que ajudou a identificar novas aplicações tecnológicas de fontes de energia renovável.

Os resultados em forma de grafos são apresentados pelas Figuras 1 e 2. Unificando-se as bases de dados com 5 citações podemos perceber que em trabalhos mais recentes houve uma maior ocorrência de palavras-chave (Figura 1), tais como: “*renewable energy*”,

“sustainability”, “irrigation”, “energy”, “water” e “biomass” em concordância com linha do tempo que apresentou crescimento gradiente de 2018 até 2020, verificado por meio da intensidade de cor da legenda a medida que se aproxima do amarelo intenso (ano 2020). Um dos motivos que evidenciam a tendência da aplicação de tecnologias voltadas à popularização do uso de fonte renováveis de geração de energia, mesmo em países ainda em desenvolvimento, como é o caso do Brasil.

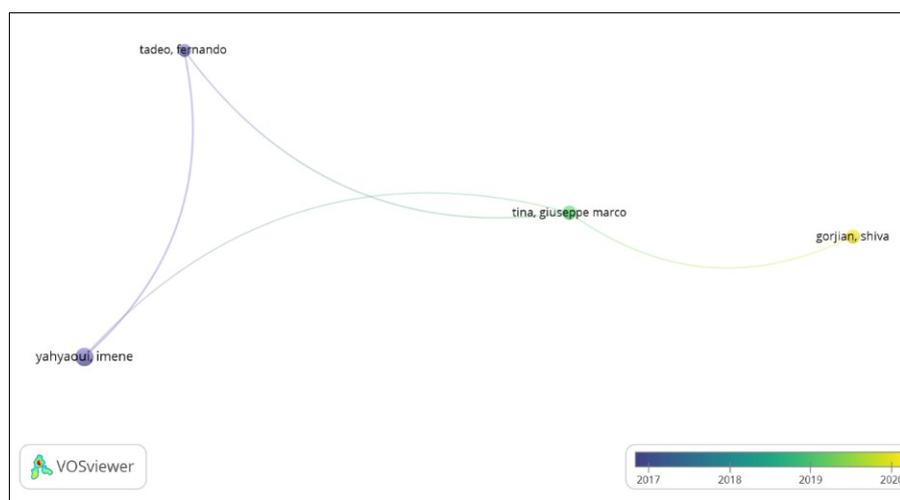
Figura 1. Grafo unificado das palavras-chaves com até 5 citações das pesquisas nas bases de dados.



Fonte: Macêdo, Jéssica, 2021

No grafo unificado da rede de autores e coautorias (Figura 2) está representado a maior componente de autores com cinco citações e verifica-se algumas conexões em destaque: Na cor roxa indicando publicações mais citadas em meados do primeiro semestre de 2017 pelos autores: (Tadeo, Fernando) “*Industrial Engineering School, University of Valladolid, Spain*”; (Yahyaoui, Imene) “*Technological Center, University of Espiritu Santo, Brazil*”; 1 autor em destaque na cor verde (Tina, Giuseppe Marco) “*University of Catania, DIEEI: Department of Electric, Electronic and Computer Engineering, Catania, Italy*” em uma projeção de publicações do segundo semestre do ano 2018 e início de 2019 e 1 autor destacado em amarelo, cujo qual é responsável pelas publicações mais recentes dos anos de 2020-2021 (Gorjian, Shiva) “*Biosystems Engineering Department, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University (TMU), Tehran, Iran.*”

Figura 2. Grafo unificado da linha do tempo dos autores e coautores com até 5 citações das pesquisas nas bases de dados.



Fonte: Macêdo, Jéssica, 2021.

Estudo de casos da literatura

No Quadro 2 estão destacados os estudos que passaram nos critérios de seleção para compor esta revisão sistemática e que contextualizam a aplicação de diferentes técnicas e aplicações de sistemas fotovoltaicos, nos últimos 5 anos.

Quadro 2. Artigos em destaque selecionados por meio da revisão sistemática.

Autor/Ano	Objeto de Estudo	Variáveis	Vantagens	Desvantagens
(Todde et al. 2019) e (Khatib et al. 2019)	Avaliar e validar os principais benefícios ambientais e potencialização da produção.	Alta densidade de plantas e irrigação, melhor quantidade de produto e qualidade.	Captação de mercado interno e externo e potencializar soluções fotovoltaicas	Elaboração de módulos fotovoltaicos e gerenciamento, Mauritânia é composta por áreas desérticas com fontes de água muito limitadas.
(Khatib et al. 2019) e (Narvarte et al. 2018)	Reabilitação de oásis da Mauritânia usando um sistema fotovoltaico ideal sistema de irrigação	Escassez hídrica, desertificação, adaptação sistema agrícola.	Grande incidência solar, prevenção da desertificação. o apresenta as inovações desenvolvidas, implementadas e testadas em um protótipo de irrigação fotovoltaica	Métodos arcaicos de irrigação, implicam em perdas hídricas

(Chilundo, Neves, and Mahanjane 2019) e (Pardo et al. 2019)	Sistema fotovoltaico de bombeamento de água para irrigação de hortaliças e análises de custos	Energia, irrigação, agricultura	Viabilidade na implantação de bombeamento por sistema fotovoltaico nas irrigações, a incorporação de baterias para armazenamento de energia para proteger o sistema contra emergências, como clima desfavorável.	Baixa aplicação deste sistema alternativo, devido ao longo tempo de retorno financeiro.
(Zavala et al. 2020)	Projeto de modelo matemático dinâmico de bombeamento fotovoltaico de água sistemas para irrigação de plantações hortícolas.	Clima, vandalismo, afetando direto ou indiretamente o sistema, recurso financeiro.	Vida útil longa, contribuindo para o desenvolvimento socioeconômico, reduzindo o uso de motores e queima de fósfil. Eficiência do uso de energia fotovoltaica	Apresenta design estacionário, não permitindo usar todo potencial energético.
(Mérida García et al. 2020) e (Powell et al. 2021)	Método de dimensionamento abrangente de sistemas de irrigação fotovoltaicos inteligentes, gerenciamento sistemas australianos	Dimensionamento ideal da rede hidráulica e da planta fotovoltaica de um sistema de irrigação com gestão inteligente, do ponto de vista técnico econômico,	A otimização baseia-se na setorização da operação dos hidrantes, a determinação dos diâmetros do tubo, dimensionamento de planta, o modelo fornece o volume total de água aplicado a cada setor e compara com suas alocações de água.	Ofereceu um projeto em que ambos, os componentes hidráulicos e fotovoltaicos tiveram custos equilibrados, embora separadamente, nenhum deles foi a opção mais barata.

Fonte: Macêdo, Jéssica, 2021.

Os resultados dos autores selecionados na revisão sistemática ilustram claramente que as técnicas empregadas com o uso em sistemas de irrigação agrícolas. Portanto, tendo em vista a contribuição do uso de energia solar na produção de novos dispositivos com alto potencial tecnológico, sendo por sua vez, mais duradouros e resistentes, além de visar a redução de impacto ambiental e utilização de tecnologias limpas, aplicando assim, um conceito sustentável e ao mesmo tempo lucrativo para a Indústria Agrícola. Porém, ainda existe uma intensa busca pelo barateamento das técnicas para a sua popularização. Desse modo para que sejam utilizados sistemas fotovoltaicos, ainda se faz necessário grandes investimentos a longo prazo até que se tenha retorno do capital financeira investido no projeto.

Trabalhos relacionados

Um estudo realizado no sul do mediterrâneo (Europa Meridional: região que, também chamada de mediterrânea, compreende os países situados no sul do continente, quase todos banhados pelo mar Mediterrâneo: Portugal, Espanha, Itália, Grécia e Turquia europeia, além de vários microestados - Vaticano, São Marinho, Mônaco, Malta e Andorra) demonstra que as estatísticas foram positivas diante do intensivo gerenciamento do sistema de irrigação, nos



pomares de oliva houve considerável aumento na produtividade e qualidade, um dos fatores que implica diretamente na produtividade é a densidade e clima semiárido, portanto a implantação do sistema Off Grid para irrigação nos pomares são considerados relevantes para economia, é notável que a planta voltaica é importante para o desenvolvimento de regiões consideradas desérticas, bem como clima não favorável para o agricultura. Mesmo que conversão colabore significativamente com a qualidade e produtividade (Todde et al. 2019).

Em Santa Catarina o uso do sistema de irrigação utilizando o sistema off grid para irrigação no plantio do alho roxo, que por um período de 15 a 30 dias, necessita de irrigações moderadas, porém no período de crescimento o processo de irrigação deve ser aumentado e posterior ao crescimento dos bulbos deve minimizar de 25 a 35% de água. Neste caso foi utilizado um sistema Off Grid sem necessidade de armazenamento de energia, sob o aspecto que parte da irrigação será realizado pela precipitação e também o uso de reservatório usando a gravidade para distribuir a irrigação (EMBRAPA, 2019).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como aspecto de inovação o presente trabalho abordou aplicações de fontes renováveis de energia através da revisão sistemática da literatura e estudo de casos sobre a viabilidade espacial e econômica da implantação de energia fotovoltaica em sistemas de irrigação agrícolas. Portanto o sistema Off Grid é viável para ser implantado em regiões remotas ou com déficit de abastecimento elétrico, operam com capacidade máxima durante o dia enquanto a radiação solar é intensa.

As diversas técnicas usadas para aprimorar o cultivo em todos os artigos mencionados tinham com característica o desenvolvimento socioeconômico e ambiental. Foram analisados métodos para adequar o sistema de acordo com cada necessidade, o clima, aridez, escassez hídrica, desertificação e todos com resultados satisfatórios, dependendo das características de cada projeto. Desse modo é demonstrada a versatilidade de cada técnica comparando os potenciais de superfície e se a mesma possui uma viabilidade para uma aplicação mais ampla em sistemas de irrigação agrícola.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELL. *et al*, Jan, Sebastian Rauch, and Clemens Streitberger. 2019. “**Buffering Volatility: Storage Investments and Technology-Specific Renewable Energy Support.**” *Energy Economics*. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.07.023>.



BAGHERIAN, *et al*, Mohammad Ali, and Kamyar Mehranzamir. 2020. “**A Comprehensive Review on Renewable Energy Integration for Combined Heat and Power Production.**” *Energy Conversion and Management* 224: 113454. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113454>.

BOMANN, *et al* omann, Tobias, Rainer Elsland, Anna Lena Klingler, Giacomo Catenazzi, and Martin Jakob. 2015. “**Assessing the Optimal Use of Electric Heating Systems for Integrating Renewable Energy Sources.**” *Energy Procedia* 83: 130–39. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.203>.

CHILUNDO, *et al*, Rosa J. Diana Neves, and Urânio S. Mahanjane. 2019. “**Photovoltaic Water Pumping Systems for Horticultural Crops Irrigation: Advancements and Opportunities towards a Green Energy Strategy for Mozambique.**” *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 33: 61–68. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.03.004>.

EMBRAPA. **Como plantar alho.** Disponível em <<https://www.embrapa.br/hortalicas/alho/irrigacao>>. 2019. Acesso em outubro de 2021.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE) 2019. “**Balanco Energético Nacional 2019 Relatório Síntese / Ano Base 2018.**” *Balanco Energético Nacional*, 67.

KHATIB, *et al*, Tamer, Alia Saleh, Shaymaa Eid, and Monera Salah. 2019. “**Rehabilitation of Maurianian Oasis Using an Optimal Photovoltaic Based Irrigation System.**” *Energy Conversion and Management* 199: 111984. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.111984>.

LIU. F. S. Tait, *et al*, A. Schellart, M. Mayfield, and J. Boxall. 2020. “**Reducing Carbon Emissions by Integrating Urban Water Systems and Renewable Energy Sources at a Community Scale.**” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 123: 109767. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109767>.

GARCÍA Mérida, A. R. González Perea, *et al*, E. Camacho Poyato, P. Montesinos Barrios, and J A Rodríguez Díaz. 2020. “**Comprehensive Sizing Methodology of Smart Photovoltaic Irrigation Systems.**” *Agricultural Water Management* 229: 105888. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105888>.

RAMOS, Narvarte, L. J. Fernández, *et al*, F. Martínez-Moreno, L. M. Carrasco, R. H. Almeida, and I. B. Carrêlo. 2018. “**Solutions for Adapting Photovoltaics to Large Power Irrigation Systems for Agriculture.**” *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 29: 119–30. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.seta.2018.07.004>.

PARDO, *et al*, Miguel Ángel, J. Manzano, J. Valdes-Abellan, and R. Cobacho. 2019. “**Standalone Direct Pumping Photovoltaic System or Energy Storage in Batteries for Supplying Irrigation Networks. Cost Analysis.**” *Science of The Total Environment* 673: 821–30. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.050>.

PPWELL, J. W, J. M. Welsh, D. Pannell, *et al*, and R. Kingwell. 2021. “**Factors Influencing Australian Sugarcane Irrigators’ Adoption of Solar Photovoltaic Systems for Water Pumping.**” *Cleaner Engineering and Technology* 4: 100248. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100248>.



TODDE, *et al*, Giuseppe, Lelia Murgia, Paola Antonia Deligios, Rita Hogan, Isaac Carrelo, Madalena Moreira, Antonio Pazzona, Luigi Ledda, and Luis Narvarte. 2019. “**Energy and Environmental Performances of Hybrid Photovoltaic Irrigation Systems in Mediterranean Intensive and Super-Intensive Olive Orchards.**” *Science of The Total Environment* 651: 2514–23. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.175>.

ZAVALA, V. R. López-Luque, *et al*, J. Reça, J. Martínez, and M. T. Lao. 2020. “**Optimal Management of a Multisector Standalone Direct Pumping Photovoltaic Irrigation System.**” *Applied Energy* 260: 114261. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114261>.



CAPÍTULO 7

CICLOVIAS EM MANAUS: CENÁRIO E INCITAÇÃO PARA O EMPREGO DA BICICLETA NO MODAL CICLOVIÁRIO DO MUNICÍPIO DE MANAUS-AM

DOI: 10.47402/ed.ep.c20229177974

João Ramon Cota dos Santos
Abel de Oliveira Costa Filho

RESUMO

O objetivo dessa pesquisa é analisar o modal cicloviário no município de Manaus como alternativa de transporte saudável e econômico. O estudo é do tipo explicativo, com análise qualitativa, realizado através de comparações e pesquisas documentais. Entretanto, devido a não encontrar dados relativos à cidade de Manaus de fontes confiáveis, essa pesquisa foi baseada em estudos de deretizes nacionais para o modal, entidades nacionais e também na própria legislação nos âmbitos nacionais e municipais. Além de ter como base em cidades do país onde o Modal já foi implementado. Foi realizado através de observações em campo e em reportagens de jornais locais (G1 Amazonas, Diário do Amazonas e Acrítica), as comparações da infraestrutura de Manaus com a de grandes cidade que possuem ciclovias. No entanto, já existe um projeto cicloviário a ser licitado, porém, o mesmo apresenta algumas falhas de planejamento que podem comprometer a obtenção de um sistema eficaz. Sendo assim, essa pesquisa visa analisar a viabilidade de ciclovias dividindo espaço com o trânsito da cidade, como forma de solução dos engarrafamentos nos horários de pico, e também com uma alternativa de locomoção, já que há insuficiências no sistema de transporte público. Embora seja de grande importância para Manaus à construção de ciclovias, uma das principais avenidas listadas no trecho apresenta deficiências que inviabilizam a sua execução, no que diz a respeito ao estreito espaço trafegável, além da proximidade de estabelecimentos comerciais e residenciais que impossibilitam o alargamento da via, buscando não prejudicar o fluxo de veículos, alcançando um objetivo satisfatório.

PALAVRAS-CHAVE: Mobilidade, sustentabilidade, bicicleta.

INTRODUÇÃO

Uma Cidade sustentável tem além de outros fatores já conhecidos, a eficiência de seu sistema de transporte. Que vão além de simples vias asfaltadas, com boas condições de tráfico, boa sinalização. Problema este enfrentado por grande parte de nossas cidades. Porém nos contentaremos somente nos aspectos relacionados aos de: transporte público, intermodalidade, trânsito, infraestrutura, gestão da mobilidade urbana e gestão de políticas públicas, observâncias em todas dimensões sociais, econômica e ambiental, que permitam incluir e satisfazer a população. A modo que esta população alcance os melhores níveis possíveis de qualidade de vida.



No Brasil, a vontade do poder público em tornar as cidades mais sustentáveis encontra muitas barreiras para ser realizado. Um dos principais motivos é o descumprimento observado na maioria dos municípios brasileiros, em relação ao planejamento de ocupação e controle do uso do solo. O processo de crescimento dessas cidades, sem a devida obediência às próprias leis municipais para ordenação do território urbano, aliado à falta de gerenciamento de demandas de viagens e de infraestrutura viária, culminou em uma matriz de transporte urbano desigual (SILVA, 2017).

Com o pior índice de malha cicloviária entre as capitais da região Norte, Manaus tem apenas 1% de ciclovias e ciclofaixas disponíveis para os ciclistas. Aos mais de 2 milhões de habitantes que residem na capital amazonense, somente 21 km desta infraestrutura é oferecida na cidade. A má qualidade da malha cicloviária impacta diretamente na vida dos cidadãos que precisam arriscar a vida no trânsito da capital amazonense (LEIROS, 2021).

A construção de ciclovias nas ruas da cidade é uma reivindicação de anos do grupo de ciclista denominados “Pedala Manaus”, que enfatiza a importância de obras para promover o modal na cidade. Porém, essa ciclovia construída no Boulevard é um caso de discussão, pois não se interliga a nenhum ponto da cidade. Em Manaus há um grande número de pessoas que utilizam a bicicleta apenas como prática de esporte, quantidade ainda pequena em relação à população de 2.057.711 hab. (Censo IBGE, Manaus-Am, 2015), o motivo do baixo número se dá pela repreensão aos ciclistas por conta da insegurança nas ruas, por não haver espaço e por desrespeito dos motoristas para com os mesmos.

O progresso urbano de Manaus também foi pautado em um processo inadequado de ocupação e uso solo, com muitas áreas de ocupação irregular, que induzem até os dias de hoje, uma operação precária do sistema de transportes, com os indicadores de mobilidade urbana, velocidades operacionais e atrasos, em níveis insatisfatórios.

A cidade de Manaus apresenta problemas de engarrafamentos devido ao intenso uso meio de transporte motorizado de uso particular. Além disso, o fato de ter uma baixa participação dos modos não motorizados em sua matriz de transportes urbanos, como, por exemplo, o uso de bicicletas, a coloca entre as cidades com menor vantagem quando se trata de cidade sustentável.

Assim, o objetivo dessa pesquisa é mostrar que para a implantação da ciclovia em Manaus é necessário melhorias no sistema de infraestrutura das vias arteriais, verificando a real

necessidade de uma ciclovia na cidade, identificando o nível de congestionamentos, analisar os impactos no fluxo do trânsito, apresentar motivos que inviabilizam sua realização.

HISTÓRIA DA BICICLETA

O primeiro desenho que se tem conhecimento do formato de uma bicicleta é de Leonardo Da Vinci (1452-1519), e o mais fascinante é que possuía as mesmas características de uma com duas rodas, sistema de direção (guidão), propulsão por corrente e um selim, porém a posição do eixo de direção faz com que a bicicleta dobre no meio (ESCOLA DE BICICLETA), como mostra a Figura 1.

Figura 1- Projeto de Leonardo Da Vinci.



Fonte: Nerdpai, 2013

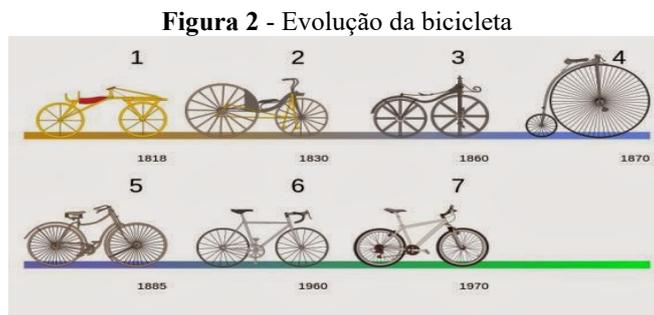
Em 1800, surgiram os primeiros documentos de veículos a propulsão humana, mais todos em formato de carroças ou carruagens com três ou quatro rodas mais em 1970, o Conde de Sivrac, circulava pelas ruas de Paris, com uma traquitana batizada de celerifere”.

Mais tarde, baseado no celerifere, o alemão Barão Karl Von Drais (1785-1851) criou em 1817 um sistema de direção que possibilitava a realização de curvas e manter-se em equilíbrio por mais tempo, inventou também um rudimentar sistema de freios e um selim com ajuste de altura, para pessoas de diversas estaturas, passando a ser chamada de “drasiana”.

Pierre Michaux (1813-1883) um carroceiro de Brunel, França, recebeu em sua oficina uma drasiana, e achando a muito interessante colocou seu filho para testá-la, mas a achou muito cansativa, daí teve a ideia de adicionar um sistema de propulsão que facilitasse seu movimento. Inseriu então uma barra de ferro em forma de “S” e em suas extremidades colocou uma barra transversal de 10cm, uma de cada lado, espaço suficiente para apoio do pé. Pierre gostou tanto de seu invento que passou a chamar de velocípede, passando a comercializá-la.

Foram enumeras modificações ao passar dos anos, como mostra a Figura 2, mas mesmo assim eram vista apenas como um brinquedo, um item de lazer e algumas vezes como veículos de competição. No entanto, isso veio a mudar com o surgimento da BMX que popularizou seu uso através do esporte, seu modelo trazia um bancos tipo banana, rodas de aro 20’, suspensão

traseira e dianteira, seu estilo lembrava muito as motos Harley Davidson, com seus guidões altos e inclinados para trás.



Fonte: Oldbike, 2015

MOBILIDADE SUSTENTÁVEL, BICICLETA COMO MEIO DE TRANSPORTE

Assunto muito discutido no meio acadêmico, que ainda não tem uma definição própria, mas pode ser entendido pela junção de três aspectos: social, ambiental e econômico, segundo professor Thiago Guimarães, da U.H, Alemanha. Pensar em sustentabilidade e agir em prol da causa, pode ser um remédio amargo para uma sociedade habituada a viver sem pensar nas consequências de suas atitudes contra o meio ambiente, que responde de forma agressiva alterando o clima de determinadas regiões do país, como enchentes, secas prolongadas, fortes aumentos de calor, baixas na humidade do ar, chuvas acidas e etc.

Então caminhar para a mobilidade sustentável significa olhar para aspectos ambientais que são deixados de lado no Brasil, razão de tal acontecimento é que muitas cidades são planejadas pensando nos automóveis, fazendo toda a sociedade sofrer com os impactos, como os ruídos, poluição do ar causando futuramente graves problemas respiratórios e também com acidentes causados pela velocidade dos veículos.

INTEGRAÇÃO INTERMODAL

A integração do uso da bicicleta e o transporte público, com a ligação dos modais, aqui chamados de intereção intermodal. Para o Transporte Ciclovário (2007), é um dos pontos principais para estabelecer a mobilidade sustentável nas cidades. Transporte público e bicicleta são modais que se caracterizam como uma combinação amigável para o desenvolvimento sustentável, uma vez promovida ações de infraestrutura e políticas públicas para que se integrem de forma física, tarifária e etc. (TRANSPORTE CICLOVIÁRIO, 2007).

Há formas distintas de estabelecer a relação bicicletas/transporte público na áreas urbanas, onde destacam-se basicamente três: o uso da bicicleta no início ou no fim da viagem



principal; o uso da bicicleta para a microacessibilidade através de sistema de aluguel e; o uso da bicicleta no percurso total. (TRANSPORTE CICLOVIÁRIO, 2007).

Aspectos técnicos, econômicos e políticos são hoje umas das dificuldades mais comuns encontradas no país para a iniciativa do projeto. Em cidades mais desenvolvidas como Curitiba, Santa Catarina, Belo Horizonte e São Paulo, por exemplo, as frotas de ônibus urbano passaram por alterações para transportar a bicicleta em segurança. Iniciativa que influencia novas pessoas para o uso diário do modal. Outras cidades já estão com o mesmo projeto em fase de planejamento, como exemplo Brasília (DF).

Mesmo com todo esse avanço, as cidades se voltando cada vez mais para a sustentabilidade, ainda resta muito para evoluir e atingir o alto patamar que grandes metrópoles, como no continente europeu e cidades dos EUA e Canadá. Essa melhoria se dá em toda a infraestrutura cicloviária, como ciclovias, ciclofaixas, vias cicláveis, rotas cicláveis e etc, infraestrutura secundária como terminais equipados para receber as bicicletas, paraciclos e bicicletários, e também vestiários para os usuários. E principalmente ônibus adaptados para o transporte de bicicletas e passageiros.

DIRETRIZES E A LEGISLAÇÃO

Segundo o Ministério das Cidades (2007), o qual orienta que o planejamento da mobilidade por bicicleta quase invariavelmente tem a elaboração de projetos como um de seus produtos, sendo imprescindível a visão de que os projetos devem ser realizados sempre de acordo com as diretrizes do plano cicloviário municipal e que esteja em consonância com a política de mobilidade contida nos planos diretores e com base nas diretrizes e instrumentos do Estatuto da Cidade. Portanto, a elaboração dos projetos só deve ser iniciada após as audiências públicas onde a entidade municipal consulta a sociedade e põe em aprovação o plano.

A Prefeitura de Manaus fez a revisão do seu Plano Diretor Urbano e Ambiental publicado em Diário Oficial do Município (DOM) em 16 de janeiro de 2014, edição 3332 do mesmo ano, no Capítulo VI - Da Mobilidade em Manaus - da Lei Complementar nº 002 de 16 de janeiro de 2014, previsto pelo Estatuto da Cidade, por objetivo de melhoria das condições de infraestrutura para circulação e acessibilidade, obedecendo às diretrizes previstas na Estratégia de Mobilidade Urbana da mencionada nesta Lei.

Conforme instrumento legal e seguindo as diretrizes da Política Nacional da Mobilidade Urbana - PNMU, a Cidade de Manaus por meio de Lei Municipal nº 2.075 de 29 de dezembro de 2015 e em conformidade com a Lei complementar nº 2 de 16 de janeiro de 2014, instituiu o



Plano de Mobilidade Urbana de Manaus, PlanMob-Manaus, e estabelece as regras para o acompanhamento e monitoramento de sua implementação, avaliação e revisão periódica.

Conforme o Art 2º, parágrafo único desta Lei. O PlanMob-Manaus tem por finalidade orientar as ações do Município no que se refere aos modos, serviços, infraestrutura viária e de transporte que garantam os deslocamentos de pessoas, cargas e serviços públicos em seu território, com vistas a atender às necessidades atuais e futuras de mobilidade da população de Manaus.

ANÁLISE DO SISTEMA CICLOVIÁRIO DE MANAUS

A Cidade de Manaus é cidade mais populosa da região norte, aponta IBGE. A capital do Amazonas também é a sétima cidade de maior população do país. Segundo estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, (2021), o levantamento divulgado registrou um total 2.25 milhões de habitantes. Apresenta aproximadamente 15 (quinze) mil vias públicas (IMPLRUB, 2013), e conta com uma área territorial de 11.401,092 km² (IBGE, 2016). Além disso, possui o 6º maior Produto Interno do Brasil – PIB, e o pólo industrial de Manaus (PIM) é o seu maior aporte econômico (IBGE, 2016).

Em vista de seu crescimento de forma acelerada e desordenado, a Cidade de Manaus tem registrado dificuldades como das grandes metrópoles regionais, que se agravou ao longo do tempo com a política pública de transporte deficitária de planejamento e de prioridade outros modais, como herança ficamos com a cultura do transporte particular. No artigo, Bicicletas em Manaus, AM: produção, usos e contradições, Aragão e Souza (2015) destacam que:

Os benefícios da bicicleta transpõem as questões meramente voltadas ao transporte, impactando na melhoria da qualidade de vida e saúde, na redução da emissão de poluentes atmosféricos e sonoros, na redução de impacto paisagístico e sobre o território, de modo a ocupar um espaço urbano muito menor para deslocamentos em tempos de vias cada vez mais congestionadas (ARAGÃO; SOUZA, 2015, p. 78).

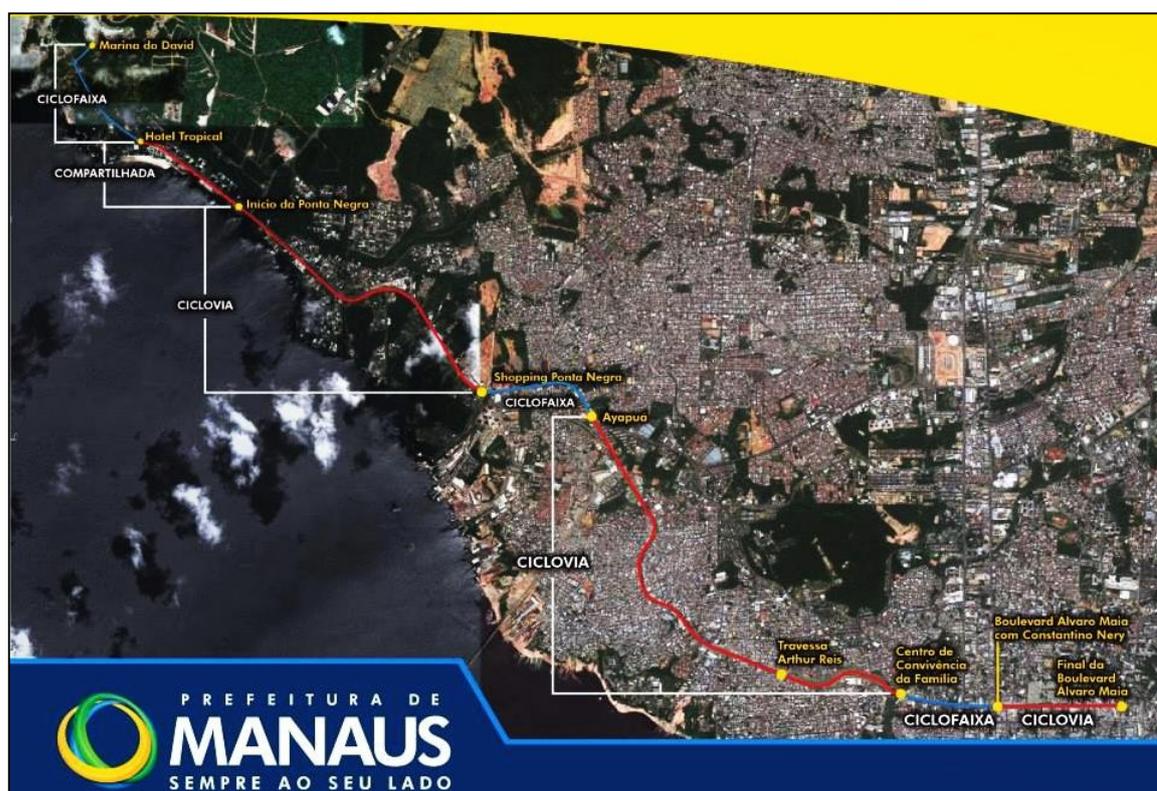
Neste contexto, a capital amazonense tenta sair da inércia tomando algumas iniciativas para a implantação de uma infraestrutura cicloviária, mas, ainda, muito aquém do nível satisfatório que se espera por ser uma grande metrópole do Norte do País, no seio da Amazônia. Nisto foi observado que a malha cicloviária existente no município, constitui um panorama vago e sem alguma praticidade, descontínuo, sem integração com os terminais do transporte coletivo e muito pouco oferece a mínima infraestrutura para incentivo ao uso do modal, principalmente a bicicleta como meio de transporte. Fato que colabora para a precária estatística de uso deste sistema, no total de cerca de 1% das viagens urbanas, conforme a matriz

origem/destino de 2005 (PLANMOB, 2015). Porém, não se deve ignorar a possibilidade de uma demanda reprimida.

A principal malha cicloviária de Manaus, conforme representação esquemática da Figura 3, abaixo, está distribuída em quatro áreas distintas da cidade, e contempla ciclovia, ciclofaixa, ciclovia compartilhada no passeio público pedestre e ciclista, e ciclorota.

A falta de infraestrutura cicloviária nos últimos anos, é motivo de muito questionamento por parte da população, obras de ligação com pontos relevantes para os usuários do modal. Sob fortes críticas da mídia e principalmente em redes sociais, foi liberada para o público a ciclovia com endereço na Avenida Álvaro Botelho Maia (Boulevard Álvaro Maia), na Zona Centro-Sul, ligando as avenidas Djalma Batista (uma das vias principais da cidade) e Duque de Caxias, e com promessa interligar o bairro Adrianópolis ao da Ponta Negra, passando por vias movimentadas como as Avenidas Brasil e Coronel Teixeira. No entanto, conforme observado na Figura 3 abaixo, o projeto da ciclovia não foi executado na sua totalidade, diferindo de forma considerável do projeto.

Figura 3 – Projeto de Ciclovia Boulevard-Ponta Negra



Fonte: IMPLURB, 2015

Conforme dados do PlanMob Manaus (2015), a ciclovia que se estende apenas pelo canteiro central da Avenida Álvaro Botelho Maia, tem uma extensão de 1,7 km, largura de 1,50

(um metro e cinquenta centímetros) e carece de ligação entre pontos relevantes na cidade, Outro ponto é a degradação da via com apenas meses de sua inauguração, como mostrado na Figura 4 abaixo.

Figura 4 – Ciclovía do Boulevard.



Logo no início, no cruzamento com a Duque de Caxias, o movimento dos carros quebrou parte do acesso à pista dela

Fonte: Acrítica, 2015

É uma ciclovía feita no passeio do canteiro central da Av. Álvaro Botelho Maia, conhecido somente como Boulevard. Porém, Observamos que não há nenhuma continuidade da ciclovía, não oferecer nenhum atrativo para o usuário. Próximo às interseções a largura não está de acordo com as diretrizes técnicas, Além de postes de energia elétrica obstruindo a via. O piso não se encontra nivelado e ocorre o acúmulo de águas pluviais, conforme imagem 5a e 5b.

Figura 5 – Ciclovía do Boulevard: (a) Largura inadequada e falta de tratamento nas interseções; (a) Obstáculos na via e irregularidades no pavimento



Fonte: Suelen Gonçalves/G1 AM, 2015

Interligando os bairros Monte das Oliveiras e Santa Etelvina, e localizada na avenida Campos Sales, se encontra a ciclovía que leva o nome da própria avenida. Seu trajeto se

encontra o Shopping Manaus Via Norte, sendo, assim, ponto relevante de interesse para os moradores da região. A ciclovia conta também com arborização e iluminação em LED.

A princípio teve boa aceitação do público alvo, porém ainda há reclamações dos usuários em decorrência sua extensão curta, cerca de 913m (Novecentos e treze metros) somente. Embora esse trecho tenha sido bem-sucedido, não tem a possibilidade de interligação com outros polos geradores de tráfego, sendo mais área de lazer para os moradores próximo do que via de tráfego cotidiano. Além da falta de manutenção na jardinagem causando insegurança nos ciclistas principalmente pela noite. A ciclovia foi implantada com largura de 1,50m por sentido, e possui sentido duplo de circulação, como se verifica na Figura 6 abaixo (Localização da ciclovia Campos Sales).

Figura 6 – Ciclovia Campos Sales



Fonte: Acrítica, 2016

Observamos outras três ciclovias nas áreas do Programa Social e Ambiental dos Igarapés de Manaus – PROSAMIM: Mestre Chico (0,5 km), Santa Luzia (0,3 km) e Alameda São Benedito, com a maior extensão (0,8 km), ver Figura 7, 8 e 9.

Somadas temos 1,6 km de infraestrutura viária acessível, da mesma formas das anteriores, também não são integradas e dificultam o acesso a bairros vizinhos, como ilustradas nas Imagens 7, 8 e 9. Mesmo com as larguras mínimas exigidas pelas normais técnicas, esses trechos cicloviários atendem, porém, falta manutenção da sinalização horizontal e a limpeza do local, deixam a desejar. Considerando a questão de segurança pública nas áreas do PROSAMIM, afasta grande parte dos usuários do modal. Além dessas vias estarem nas margens de igarapés, por sua vez poluído, afeta em muito o paisagismo do local, deixando o passeio menos atrativo.

Figura 7 – Ciclovía PROSAMIM Santa Luzia



Fonte: Google Maps, *street view*, 2014

Figura 8 – Ciclovía Alameda São Benedito



Fonte: Google Maps, *street view*, 2014

Figura 9 – Ciclovía PROSAMIM Mestre Chico



Fonte: Google Maps, *street view*, 2014

No tocante a ciclofaixa, temos apenas a localizada na Av. Nathan Xavier, situada nas Zonas Norte-Leste da cidade, com aproximadamente 3 km (três quilômetros) de extensão, para cada sentido de circulação. Mesmo com boa localização ligando grandes avenidas como Avenida das Torres e Bairro do Novo Aleixo, sentido Zona Leste, essa rota, não teve êxito para o sistema de tráfego, da mesma forma que outras não tem interligação, fazendo que ciclistas enfrentem perigo pelo fluxo de carro na via de acesso, também na contramão da sustentabilidade ainda falta muito que se alcançar devido a falta de educação no trânsito por grande parte dos motoristas de veículos automotores, estacionando em meio a ciclofaixa e e

por muitas vezes se ver ultrapassagens pela lado direito da via onde se encontra a ciclofaixa, fazendo que o usuário use o passeio com rota em invés do sistema cicloviário existente ao lado. A Figura 10, abaixo, mostra a localização da referida ciclofaixa, e a Imagem 11, uma visão geral de um dos trechos da via.

Figura 10 – Ciclofaixa na Av. Nathan Xavier de Albuquerque



Fonte: Autor, 2021

A ciclofaixa da Avenida Nathan Xavier, tem seu início e término afastados das interseções da via de tráfego, não possuindo o devido tratamento recomendado pelas normas técnicas do modal. E devido sua extensão e localização que dá acesso às Zonas Nortes e Leste da cidade, poderia ter um papel super importante caso a continuidade da ciclofaixa no trajeto. Além disso, já são observados sinais de deterioração na sinalização horizontal de separação via e ciclofaixa, e no pavimento, causando insegurança no percurso, levando o usuário para o tráfego pela calçada, como pode ser observado nas Imagem 11, a seguir.

Figura 11 – Ciclofaixa na Av. Nathan Xavier



Fonte: Autor, 2021



A situação da via, induz o ciclista usar o passeio ou até mesmo a via de tráfego de veículos, pois é evidente pelas imagens a falta de manutenção na ciclofaixa, trazendo insegurança para os usuários, sem contar que ainda estão sujeitos ao perigo devido boa parte dos motoristas usarem a ciclofaixa para ultrapassagens ou até mesmo estacionamento. Pela falta de educação no trânsito e pouca fiscalização a metrópole continua na contramão da sustentabilidade.

Para Silva (2017) as ciclofaixas são o meio mais simples e menor custo para a administração pública executar a implementação da via. No entanto, é necessário que as manutenções para garantir boas condições do pavimento, da drenagem, da sinalização viária horizontal e vertical que possibilitem a circulação do ciclista em faixa diferenciada dos veículos automotores, sejam efetuadas com maior frequência. Além disso, tornar mais presente a fiscalização de trânsito nesses locais.

Manaus, por sua vez, tenta evoluir no processo do modal cicloviário na cidade, e pelo exemplo de grandes capitais, como São Paulo e Rio de Janeiro, que contam com sistema de aluguel de “Bikes”, implementou o sistema compartilhado de bicicletas, por nome Manôbike. Projeto este, só foi possível através de parcerias da prefeitura com empresas privadas.

Conforme a empresa Mobilicidade (2017), essas estações tem energia elétrica, através de sistema de energia solar e conectadas a rede *wireless* que permite ao usuário monitorar através de seu smartphone por meio de aplicativo a disponibilidade das bicicletas no local. No entanto, as estações estão limitadas a regiões do centro da cidade e arredores, fazendo com que, a estação seja mais atrativa para pequenos passeios de lazer turístico do que efetivamente como modal de transporte. Abaixo conforme Figura 12 com a localização das 11 (onze) estações na data de sua inauguração. Posteriormente, devido o êxito do projeto, foram ampliadas mais 4 (quatro) estações, totalizando 15 (quinze) disponíveis atualmente.

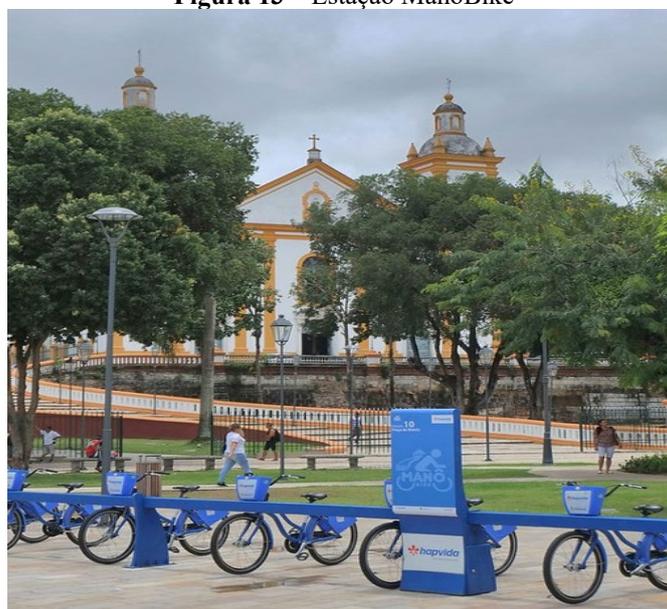
Figura 12 – Localização das 11 estações das Bicicletas ManôBike



Fonte: Silva, 2017

Conforme se observa na figura anterior, as estações estão localizadas no centro histórico no Bairro Centro de metrópole, fazendo que o trajeto pelas ciclorotas sinalizadas, seus usuários possam passar pelos principais pontos turísticos da cidade. Segue Imagem 13 como ilustração da estação da ciclorota.

Figura 13 – Estação ManôBike



Fonte: Prefeitura de Manaus, 2018

Com seu modelo próprio e único, como vemos na imagem 13, as estações e as bicicletas compartilhadas tem seu padrão que se aplica em todas as demais estações. As vias sinalizadas de tráfego para as bikes, que chamamos de ciclorotas tem extensão de aproximadamente 14,5 km, ganharam sinalização horizontal e vertical própria. No entanto, algumas dessa ciclorotas não se

enquadram dentro das normais técnicas para o modal, pois devido infraestrutura já existente antes do projeto, impossibilitou larguras pelo padrão normativo, velocidade de projeto regulamentada para veículos automotores da via e pelo volume de tráfego intenso no local. Há necessidade de averiguar tal situação, pois a insegurança no trânsito restringe o uso desse tipo de infraestrutura cicloviária. Sem contar a falta de educação no trânsito por parte dos motoristas de veículos automotores, e, somado com a falta de fiscalização quanto aos estacionamentos irregulares.

A Tabela 1 abaixo mostra a localização atualizada e as características das 15 estações Manôbike.

Tabela 1 – Localização das estações Bicicletas ManôBike

ESTAÇÃO	LOCALIZAÇÃO		CARACTERÍSTICA
1	Rua Luiz Antony	Estação Colégio Militar	Modulação convencional com área ocupada de 12,20 m x 2,25 m
2	Rua Ramos Ferreira	Estação Congresso	Modulação convencional com área ocupada de 12,20 m x 2,25 m
3	Av. Joaquim Nabuco	Estação Beneficente	Modulação convencional com área ocupada de 12,20 m x 2,15 m
4	Rua 10 de Julho	Estação Largo São Sebastião	Modulação convencional com área ocupada de 12,20 m x 2,25 m
5	Rua 24 de Maio	Estação D. Pedro I	Modulação convencional com área ocupada de 12,20 m x 2,15 m
6	Rua Bernardo Ramos	Estação D. Pedro II	Modulação convencional com área ocupada de 12,20 m x 2,15 m
7	Av. Eduardo Ribeiro	Estação Matriz	Modulação convencional com área ocupada de 9,15 m x 4,40 m
8	Av. 7 de Setembro	Estação Praça Heliodoro Balbi	Modulação convencional com área ocupada de 12,20 m x 2,15 m
9	Av. Marquês de Santa Cruz	Estação Mercado Municipal	Modulação convencional com área ocupada de 9,15 m x 4,90 m
10	Rua Miranda Leão	Estação Igreja Nossa Senhora dos Remédios	Modulação convencional com área ocupada de 12,20 m x 2,15 m
11	Rua Lima Bacuri	Estação Jefferson Peres	Modulação convencional com área ocupada de 12,20 m x 2,65 m
12	Ramos Ferreira	Esquina Major Gabriel	Modulação convencional com área ocupada de 12,20 m x 2,65 m
13	Av. Sete de Setembro	Parte final de ponte de ferro, Mercado Walter Rayol	Modulação convencional com área ocupada de 12,20 m x 2,65 m
14	Av. Constantino Nery	Terminal 1 (T1)	Modulação convencional com área ocupada de 12,20 m x 2,65 m
15	Av. Manicoré	Terminal 2 (T2), cachoeirinha	Modulação convencional com área ocupada de 12,20 m x 2,65 m

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021

De acordo com a Mobilicidade (2017), o contrato firmado entre a empresa e a prefeitura de Manaus, teve cláusula do fornecimento das bicicletas fossem feita pela empresa contratada para executar o sistema. O modelo das bicicletas, denominado SAMBA, possuem cestas para o usuário transportar seus pertences, com dispositivo com três marchas e espelho retrovisor, sendo todas as bicicletas com numeração definida para identificação e rastreabilidade de dados de viagens. A liberação das bikes para utilização é feito via aplicativo, sendo, outra característica das estações, que para evitar furtos, possuem um dispositivo eletromecânico de travamento.

Mesmo como o avanço do projeto que facilidade o usuário do modal, a Capital, precisa avançar bastante neste seguimento. A ausência de paraciclos, bicicletários e instalações tipo banheiro/vestiário em locais de acesso públicos, privados e terminais de ônibus ainda é observada a carência. Podemos citar um exemplo é o Campus da Universidade Federal do Estado, onde carece de equipamentos e instalações para ciclistas. Relatos que alunos usuários do meio de transporte, amarram suas bikes em árvores, escadas ou postes de iluminação, Além de banheiros desprovidos de instalações básicas, como chuveiros para a higiene após o percurso, devido o clima ser muito quente na cidade.

O Instituto Municipal de Engenharia e Fiscalização do Trânsito – MANAUSTRANS implantou um paraciclo no prédio de sua sede, como ilustrado na Imagem 14.

Figura 14– Paraciclo instalado na sede do MANAUSTRANS



Fonte: Silva, 2017

Paraciclos e bicicletários são importantes infraestruturas de incentivo ao uso da bicicleta, pela facilidade que proporciona no estacionamento e ainda possibilitam um local adequado para a guardado veículo, pratica essa que em é visto em poucos locais, centros comerciais, lojas ou empresas pela cidade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através dessa pesquisa chegou-se a conclusão que a infraestrutura e a logística de trânsito que temos hoje em Manaus não fornecem condições para realização de tal benefício projeto, pois possui vias muito estreitas, quase intrafegáveis não suprimindo a alta demanda de fluxo de veículos.

Conclui-se que uma alternativa simples, barata e sustentável e bem aceita em diversos lugares do mundo, é a utilização da bicicleta como meio de locomoção, um transporte limpo, pois não agride ao meio ambiente, de fácil manutenção e baixo custo, simples e prática, não necessitando de nenhuma habilitação nem cursos, pois grande parte a população já tem um domínio funcional sobre o veículo. Juntando todas essas vantagens, com uma boa infraestrutura favorável a implantação de ciclovias, pode se ter uma significativa melhora ou até extinção de grandes congestionamentos nas grandes cidades.

Todavia, Manaus precisa de mudanças no seu atual sistema de trânsito, de programas educacionais que incentivam o uso da bicicleta no dia a dia e seus benefícios. Para isso, é preciso estudos mais aprofundados de viabilização do projeto, levantamento de ciclistas que utilizam o trecho para atividades afins, identificação de trechos com grande índice de acidentes e assaltos, mapeamento de áreas de difícil modificação estrutural (estreito acostamento e recuo residencial), análise de impactos na logística e no fluxo de veículos e comparação de dificuldades encontradas no projeto com a de outras cidades onde se obteve uma solução viável e prática.

REFERÊNCIAS

ACRÍTICA (2015). Ciclovía do Boulevard apresenta sinais de abandono e necessidade de reforma. Disponível em: <https://www.acritica.com/channels/manaus/news/ciclovía-da-boulevard-apresenta-sinais-de-abandono-e-necessidade-de-reforma>> acessado em Set. 2021.

ACRÍTICA (2016). Manaus ainda precisa ‘pedalar muito’ para se tornar uma cidade viável para os ciclistas. Disponível em: <https://www.acritica.com/channels/manaus/news/manaus-ainda-precisa-pedalar-muito-para-se-tornar-uma-cidade-viavel-para-os-ciclistas>> acessado em Set. 2021.

ARAGÃO, L. A.; SOUZA, G. A. **Bicicletas em Manaus, AM: produção, usos e contradições**. p. 169-189. 2015. Mobilidade por Bicicleta No Brasil. PROURB/UFRJ. Rio de Janeiro, 2016.

BRASIL. IBGE. Diretoria de Pesquisas-DPE - Coordenação de População e Indicadores Sociais – COPIS. Manaus, 2015. Disponível em:



<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=130260&idtema=130&search=amazonas%7Cmanaus%7Cestimativa-da-populacao-2014->. Acesso em: 24 de Junho de 2021.

BRASIL. Lei 10257/01, **Estatuto das Cidades**. Brasília, 2001.

BRASIL. Lei 12587/12, **Política Nacional de Mobilidade Urbana**. Brasília, 2012. BRASIL. **Política Nacional de Trânsito**. 1º Ed. Brasília, 2004. 36p.

ESCOLA DE BICICLETA. **A história da bicicleta no mundo**. Nasce uma ideia. Disponível em: <http://www.escoladebicicleta.com.br/historiadabicicleta.html>. acessado em 27 de Setembro de 2021.

GOOGLE MAPS (2014). Ciclovía Alameda São Benedito. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/@-3.1348659,-60.0028548,3a,75y,256.31h,64.76t/data=!3m6!1e1!3m4!1sk7YyyhUzRINahzBK1qy5Bw!2e0!7i13312!8i6656?hl=pt-BR>>. Acesso em: 30 nov. 2020.

GOOGLE MAPS (2014). Ciclovía Prosamim Mestre Chico. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/@-3.1315324,-0.0103286,3a,75y,157.38h,81.93t/data=!3m6!1e1!3m4!1sgvOOPkQBSSJTLS8mWqLPwA!2e0!7i13312!8i6656?hl=pt-BR>>. Acesso em: 30 nov. 2020.

GOOGLE MAPS (2014). Ciclovía Prosamim Santa Luzia. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/@-3.138459,60.0040899,3a,75y,156.71h,79.2t/data=!3m6!1e1!3m4!1sRuepEao1r9REyzyzpwJy51w!2e0!7i13312!8i6656?hl=pt-BR>>. Acesso em: 30 nov. 2020.

IMPLURB (2013). Ciclovía vai do Boulevard, passa pela avenida Brasil até a Marina do David, na Ponta Negra. Disponível em: <<http://implurb.manaus.am.gov.br/ciclovía-vai-do-boulevard-passa-pela-avenida-brasil-ate-a-marina-do-david-na-ponta-negra/>>. Acesso em: 30 nov. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Manaus, Amazonas. Disponível em: <<https://www.ibge.org.br>> acessado em nov. 2020.

LEIROS, Marcela. Revista Cenarium da Amazônia para o Mundo. **Sem projetos para novas ciclovias, Manaus tem a pior índice de malha ciclviária da Amazônia**. Manaus, 2021. Disponível em: <https://revistacenarium.com.br/sem-projeto-para-novas-ciclovias-manaus-tem-pior-indice-de-malha-ciclovitaria-da-amazonia/> acesso em 26 de Setembro de 2021.

MANAUS. **Lei nº 2075, 2015. Plano de Mobilidade Urbana de Manaus - PlanMob**. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/am/m/manaus/leiordinaria/2015/207/2075/lei-ordinaria-n-2075-2015-institui-o-plano-de-mobilidade-urbana-de-manaus-planmob-manaus-e-estabelece-as-diretrizes-para-o-acompanhamento-e-monitoramento-de-sua-implementacao-avaliacao-e-revisao-periodica>> acessado em set. de 2021.

MANAUS. Lei Complementar nº 002, 2014. **Plano Diretor Urbano e Ambiental do Município de Manaus**. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/am/m/manaus/lei-complementar/2014/0/2/lei-complementar-n-2-2014-dispoe-sobre-o-plano-diretor-urbano-e-ambiental-do-municipio-de-manaus-e-da-outras-providencias>> Acesso em set. de 2021.



MANAUS. Prefeitura Municipal de Manaus – PMM. **Plano de Mobilidade Urbana de Manaus – PlanMOB**. Vol. I. Amazonas, 2015.

MANAUS. Prefeitura de Manaus – PMM (2018). **Projeto Manôbike completo dois anos com mais de 16 mil viagens**. Disponível em: <https://www.manaus.am.gov.br/noticia/projeto-manobike-dois-anos/>> acessado em set. 2021.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Plano de Mobilidade por Bicicleta nas Cidades, Coleção Bicicleta Brasil**, caderno 1. Secretaria Nacional de Transporte e da Mobilidade Urbana, Brasília, DF, 2007.

MOBILIZE. **Estrutura cicloviária em cidades do Brasil**. Disponível em<<http://www.mobilize.org.br/estatisticas/28/estrutura-cicloviaria-em-cidades-do-brasil-m.html>>. Acesso em 08 de nov. de 2020.

MOBILICIDADE TECNOLOGIA LTDA. Samba mobilidade sustentáveis. Recife – PE. Disponível em: <https://www.mobilicidade.com.br/bicicletascompartilhadas.aspx>> acessado em jul. 2021.

PEDALA MANAUS (2012). **Bicicletário**. Portifólio Pedala Manaus. Disponível em:<<https://www.pedalamanaus.org/home/>>. Acesso em 29 nov. 2020.

SILVA, A. De O. Da. **Os Desafios do uso da bicicleta no trânsito do município de Manaus**. UFAM – Universidade Federal do Amazonas. Manaus – AM, 2017.

TRANSPORTE CICLOVIÁRIO. **Série de Cadernos Técnicos**. vol. 7, setembro 2007. Brasil, 2007.

CAPÍTULO 8

CIÊNCIA EM FOCO: INVESTIGAÇÕES SOBRE AS TAXAS DE CLOROFILA EM PLANTAS DA REGIÃO DE PALMAS - PR¹

DOI: 10.47402/ed.ep.c20229188974

Gabriel Neves Alves
Jaqueline Nicolini
Keller Paulo Nicolini

RESUMO

A avaliação das taxas de clorofila alfa e beta, pode ser realizada de forma versátil quer seja com solventes verdes, com baixo impacto ambiental ou também sem o uso de solventes através de medidores portáteis. O acompanhamento das taxas de clorofila α (alfa) e de clorofila β (beta) tem importância ambiental por mitigarem impactos ambientais provenientes da aplicação excessiva de compostos nitrogenados no manejo de culturas, uma vez que a otimização da aplicação de compostos nitrogenados pode reduzir custos e aumentar a produtividade. O uso de etanol e água como solventes extratores pode ser empregado na extração de clorofila α e de clorofila β em diferentes espécies vegetais. Com o auxílio de espectrômetros de UV/Vis com leitura pontual é possível determinar as taxas de clorofila α e de clorofila β . O estudo das taxas de clorofila α e de clorofila β pode ser aplicado em ambientes de ensino, pesquisa e extensão, em estudos relacionados com a matriz econômica regional bem como promovendo a sustentabilidade.

PALAVRAS-CHAVE: Meio ambiente, sustentabilidade, flora, clorofila.

INTRODUÇÃO

Diversos estudos vêm empregando a espectroscopia de ultravioleta-visível (UV-Vis) para compreender o comportamento de materiais (DE RAMOS et al., 2021; GIRELLI et al., 2019; ZANQUETTI et al., 2018) para serem aplicados na agricultura ou no monitoramento das taxas de clorofila (BERNARDI; NICOLINI; NICOLINI, 2017; CORONETTI et al., 2017) em plantas, visando acompanhamento fitoquímico ou ambiental. O estudo sobre os teores de clorofila pode ser realizado em laboratório ou utilizando medidores portáteis para análises em campo. O cálculo da razão de clorofila α/β pode ser aplicado no acompanhamento de culturas, que necessitam aplicação de nitrogênio, podendo sinalizar a necessidade da aplicação deste macronutriente, aumentando a produtividade e reduzindo custos de manejo. O monitoramento das taxas de clorofila alfa (C_α) e de clorofila beta (C_β) pode auxiliar na avaliação do comportamento de culturas em atividades de pesquisa ou para a produção comercial. Entre outras aplicações as taxas de clorofila α e de clorofila β podem auxiliar em protocolos de

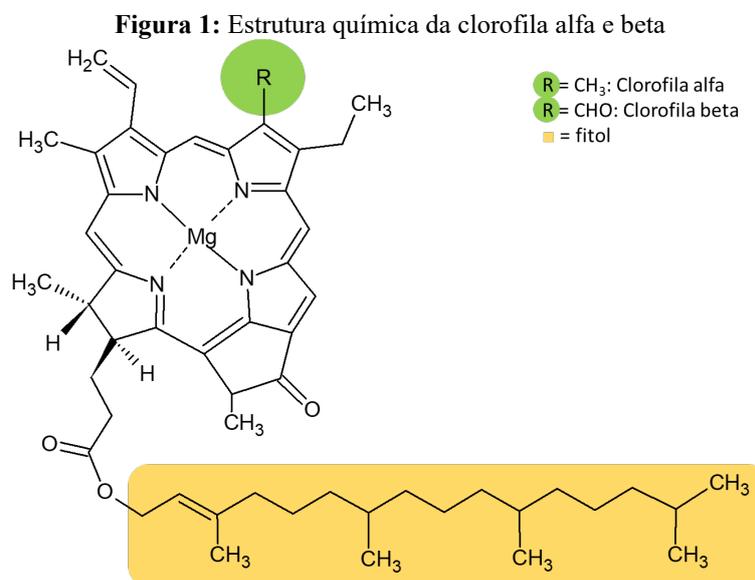
¹ Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq.

monitoramento ambiental, uma vez que as taxas de clorofila são sensíveis a contaminantes e poluentes ambientais.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Medidores portáteis de clorofila em folhas, que realizam leitura instantânea são uma ferramenta para avaliar o nível de nitrogênio em plantas. A utilização do teor de clorofila das folhas pode ser empregado como parâmetro de monitoramento, atuando como indicador para a recomendação de adubação nitrogenada em cereais, principalmente quando associado a indicadores de solo (ARGENTA; SILVA; BORTOLINI, 2001a). O teor de clorofila mostrou-se viável para indicar o estado nutricional de nitrogênio do feijoeiro (SORATTO; CARVALHO; ARF, 2004) e do milho (ARGENTA et al., 2001b), por exemplo.

A clorofila (Figura 1), presente em vegetais apresenta como um dos seus constituintes o fitol, um diterpeno muito frequente em extratos de plantas (SIQUEIRA et al., 2003). Estudos têm demonstrado que a molécula de fitol, na sua forma livre, pode ser absorvida e quando entra na corrente sanguínea pode exercer importantes funções no metabolismo lipídico e na regulação de processos metabólicos (LANFER-MARQUEZ, 2003).



Fonte: Os autores

Estudos têm demonstrado que o cálculo da razão C_{α}/C_{β} aumentou gradativamente em plantas de Abacaxizeiro Pérola tratadas com quantidades crescentes de sulfato de amônio, havendo incrementos gradativos no teor de clorofila α e na razão clorofilas α/β (VIEIRA et al., 2010). No Abacaxizeiro Vitória, tratamentos com ácidos húmicos proporcionaram maiores teores de pigmentos fotossintéticos e um acréscimo significativo na razão entre clorofila α e



clorofila β , favorecendo o processo de aclimação e o estabelecimento das plantas *ex vitro* (BALDOTTO et al., 2009).

Em avaliação do potencial fitorremediador de plantas de *Stizolobium aterrimum*, observou-se redução dos teores de clorofila α e clorofila β e da razão clorofila α/β , sendo a síntese de clorofila α é mais sensível ao excesso de Cd do que a síntese de clorofila β (SOUZA et al., 2011). Dessa forma, é importante realizar um levantamento das taxas de clorofila em plantas, visando assim contribuir para o mapeamento das taxas de clorofila α e β em diferentes plantas da região de Palmas, no Sudoeste do Paraná.

MATERIAIS E MÉTODOS

Avaliação das taxas de clorofila

O material vegetal foi coletado entre novembro de 2015 e março de 2016. Foram avaliadas as taxas de clorofila alfa (α) e de clorofila beta (β) de 31 espécies de plantas encontradas na fauna da região de Sudoeste do Paraná, Brasil. Para as análises, foi utilizado etanol 95 % como solvente extrator, de acordo com a metodologia proposta por Lichtenthaler e Packer (1987) (LICHTENTHALER; LESTER PACKER, 1987a). Para a extração das clorofilas 100 mg do material vegetal fresco, foi previamente resfriado a 0 °C. Em seguida o material foi macerado juntamente com o solvente extrator, filtrado, centrifugado por 5 minutos a 4.000 rpm e diluído para um volume de 1,0 mL utilizando-se o solvente extrator.

Os estudos espectroscópicos foram realizados em um espectrofotômetro UV-Basic na região do visível, entre 500 e 700 nanômetros (nm).

As taxas de clorofila alfa (α) e beta (β) foram o calculadas em microgramas por mililitro ($\mu\text{g/mL}$) Lichtenthaler (1987), conforme literatura (LICHTENTHALER, 1987; LICHTENTHALER; BUSCHMANN, 2001; LICHTENTHALER; LESTER PACKER, 1987a).

A Equação 1 (LICHTENTHALER; LESTER PACKER, 1987b) foi utilizada para o cálculo da taxa de clorofila alfa (α), sendo A absorbância.

$$C_{\alpha} = 13,36 A_{664,2} - 5,19 A_{648,6} \quad (\text{Equação 1})$$

Para o cálculo da taxa de clorofila beta (β) (LICHTENTHALER; LESTER PACKER, 1987b) foi aplicada a Equação 2, sendo A absorbância.

$$C_{\beta} = 27,43 A_{648,6} - 8,12 A_{664,2}$$

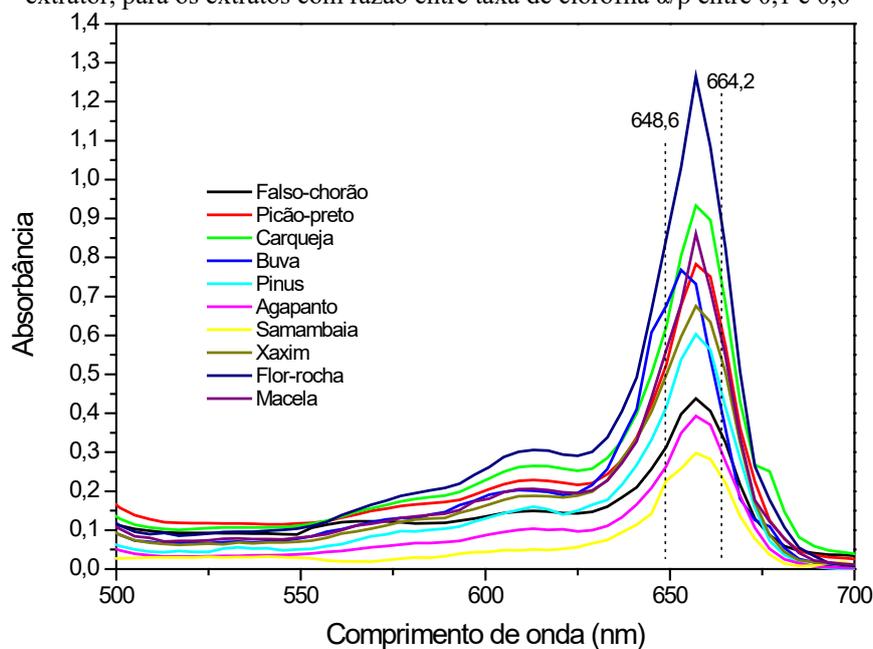
(Equação 2)

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os espectros das 31 plantas investigadas foram divididos em 3 grupos, sendo amostras: *i)* com a razão entre taxa de clorofila α/β entre 0,1 e 0,6; *ii)* com a razão entre taxa de clorofila α/β entre 0,7 e 0,8; e *iii)* com razão entre taxa de clorofila α/β entre 0,9 e 1,9. As taxas calculadas são para plantas que estão em uma área preservada, nas dependências do Instituto Federal do Paraná, *campus* Palmas.

Na Figura 2 observa-se o comportamento espectroscópico na região do visível dos extratos de material vegetal utilizando etanol 95 % como solvente extrator, para os extratos com razão entre taxa de clorofila α/β entre 0,1 e 0,6.

Figura 2: Espectros de UV-Visível dos extratos de material vegetal utilizando etanol 95 % como solvente extrator, para os extratos com razão entre taxa de clorofila α/β entre 0,1 e 0,6



Fonte: Os autores

As plantas monitoradas apresentam perfil espectroscópico similar (Figura 2), mas com significativas variações na razão C_{α}/C_{β} (Tabela 1). O picão-preto (*Bidens* sp.) foi a planta que apresentou a menor razão C_{α}/C_{β} , sendo esta, uma planta ereta e perene amplamente distribuída em regiões de clima temperado e tropical (BARTOLOME; VILLASEÑOR; YANG, 2013) o qual tem sido usado como um medicamento popular, na forma de chás, devido a atividade antioxidante dos polifenóis presentes na planta (CHIANG et al., 2004). Já a carqueja (*Baccharis* sp.), com razão C_{α}/C_{β} de 0,2 é a espécie mais estudada farmacologicamente entre o gênero *Baccharis*. É uma planta muito difundida na América do Sul para tratar doenças

gastrointestinais e hepáticas, sendo que estudos demonstram que ela apresenta efeito relaxante no músculo liso vascular em ratos (TORRES et al., 2000). É um arbusto com ramos cilíndricos de até 1m de comprimento, papilosos ou com raras folhas sésseis e reduzidos nos nódulos, sendo principais compostos encontrados na carqueja são flavonóides e terpenos (RABELLO; COSTA, 2018). A buva, uma espécie de erva daninha nativa da América do Sul (VARGAS et al., 2007) também apresentou razão C_α/C_β de 0,2, a qual apresenta resistência a herbicidas como o glifosato (TREZZI et al., 2011) e o paraquat (FUERST et al., 1985). A samambaia uma epífita neotropical (OTTO et al., 2009), o pinus trazidos pelos imigrantes europeus, para fins ornamentais e para produção de madeira (SHIMIZU, 2008), o xaxim que é um tipo de samambaia (SCHMITT; SCHNEIDER; WINDISCH, 2009) e a flor-rocha que é uma espécie herbácea (ROSO et al., 2017) apresentaram razão C_α/C_β de 0,5. Os extratos de falso-chorão, agapanto e de macela apresentaram razão C_α/C_β de 0,6. Estudos têm demonstrado que o falso-chorão além de apresentar propriedades como antibacteriano, antiviral, antisséptico tópico, antifúngico, antioxidante, anti-inflamatório, antitumoral, antiespasmódico e analgésico seu óleo essencial também apresenta propriedades antioxidantes, antimicrobianas e toxicológicas (MARTINS et al., 2014). O agapanto é uma planta com propriedades antifúngicas (TEGEGNE; PRETORIUS; SWART, 2008) além de suas flores poderem ser utilizadas como indicador alternativo de pH (SILVA et al., 2020). Já a macela é utilizada na medicina popular na forma de chá, para patologias digestivas e inflamatórias (FACHINETTO et al., 2007; SIMÕES et al., 1988). A Tabela 1 apresenta as taxas de clorofila alfa (α) e beta (β) em ordem crescente da razão entre a taxa de clorofila α/β entre 0,1 e 0,6.

Tabela 1: Taxas de clorofila alfa (α) e beta (β) em ordem crescente da razão entre a taxa de clorofila α/β entre 0,1 e 0,6.

Nome científico	Nome Comum	C_α (ug/g)	C_β (ug/g)	Razão C_α/C_β
<i>Bidens</i> sp.	Picão-preto	15,8	109,4	0,1
<i>Baccharis</i> sp.	Carqueja	9,8	62,4	0,2
<i>Conyza</i> sp.	Buva	30,7	139,1	0,2
<i>Pleopeltis</i> sp.	Samambaia	23	43	0,5
<i>Pinus</i> sp.	Pinus	44	85,2	0,5
<i>Dicksonia</i> sp.	Xaxim	49,3	91,4	0,5
<i>Echium</i> sp.	Flor-rocha	82,9	154,1	0,5
<i>Schinus</i> sp.	Falso-chorão	16,7	27,6	0,6

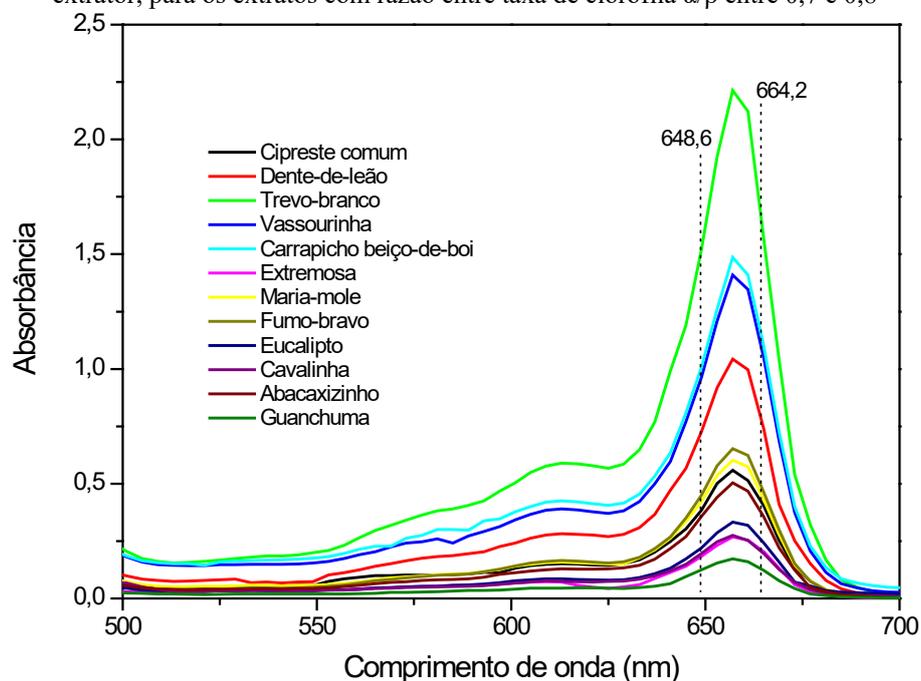
<i>Agapanthus</i> sp.	Agapanto	29,6	53,8	0,6
<i>Achyrocline</i> sp.	Macela	59,2	93,2	0,6

C_{α} : taxa de clorofila alfa (α); C_{β} : taxa de clorofila beta (β); C_{α} (ug/g): taxa de clorofila α em microgramas por grama de material vegetal; C_{β} (ug/g): taxa de clorofila β em microgramas por grama de material vegetal. As taxas de C_{α} e C_{β} foram convertidas em $\mu\text{g/g}$ (LICHTENTHALER; BUSCHMANN, 2001)

Fonte: Os autores

Na Figura 3 observa-se o comportamento espectroscópico dos extratos de material vegetal com razão entre taxa de clorofila α/β entre 0,7 e 0,8 utilizando etanol 95 % como solvente extrator. Neste segundo grupo, observam-se 12 plantas e dentre estas, 8 delas apresentam razão entre taxa de clorofila α/β de 0,7.

Figura 3: Espectros de UV-Visível dos extratos de material vegetal utilizando etanol 95 % como solvente extrator, para os extratos com razão entre taxa de clorofila α/β entre 0,7 e 0,8



O cipreste comum é uma planta nativa da bacia do Mediterrâneo (AL-SNAFI, 2016), tendo seu óleo essencial constituído principalmente de mono e sesquiterpenóides (TAPONDJOU et al., 2005). A maria-mole é uma planta do gênero *Senecio*, que pela elevada concentração de alcaloides pirrolizidínicos pode causar intoxicação em animais (PANZIERA et al., 2017). O trevo-branco, é empregado no sul do Brasil em sistemas de pastagem (OLIVO et al., 2009) enquanto que o carrapicho beijo-de-boi é uma erva daninha capaz de dizimar gramados quando não controlada (FREITAS et al., 2003). O eucalipto é o gênero florestal com o maior número de micropropagação (DUTRA; WENDLING; BRONDANI, 2009), sendo que estudos mostram que carvões de eucalipto apresentam concentrações inibitórias para *Saccharomyces cerevisiae* (ZANQUETTI et al., 2018). O fumo-bravo, comum na Mata

Atlântica, possui extrato aquoso capaz de reduzir a severidade do crescimento bacteriano em folhas de feijoeiro (TELAXKA et al., 2018), o abacaxizinho é uma planta perene com hábito de crescimento herbáceo com potencial paisagístico (ANASTÁCIO; SANTANA, 2010) e a guaxuma é uma planta daninha comum em áreas de plantio direto (PICCOLO et al., 2007). As plantas dente-de-leão e vassourinha que apresentam potencial atividade anti-inflamatória (DOS SANTOS et al., 2010; JEON et al., 2008), a extremosa e cavalinha que apresentam potencial ação farmacológica (AL-SNAFI, 2017; 2019) possuem razão entre a taxa de clorofila α/β de 0,8. A Tabela 2 apresenta as taxas de clorofila alfa (α) e beta (β) em ordem crescente da razão entre a taxa de clorofila α/β entre 0,7 e 0,8.

Tabela 2: Taxas de clorofila alfa (α) e beta (β) em ordem crescente da razão entre a taxa de clorofila α/β entre 0,7 e 0,8.

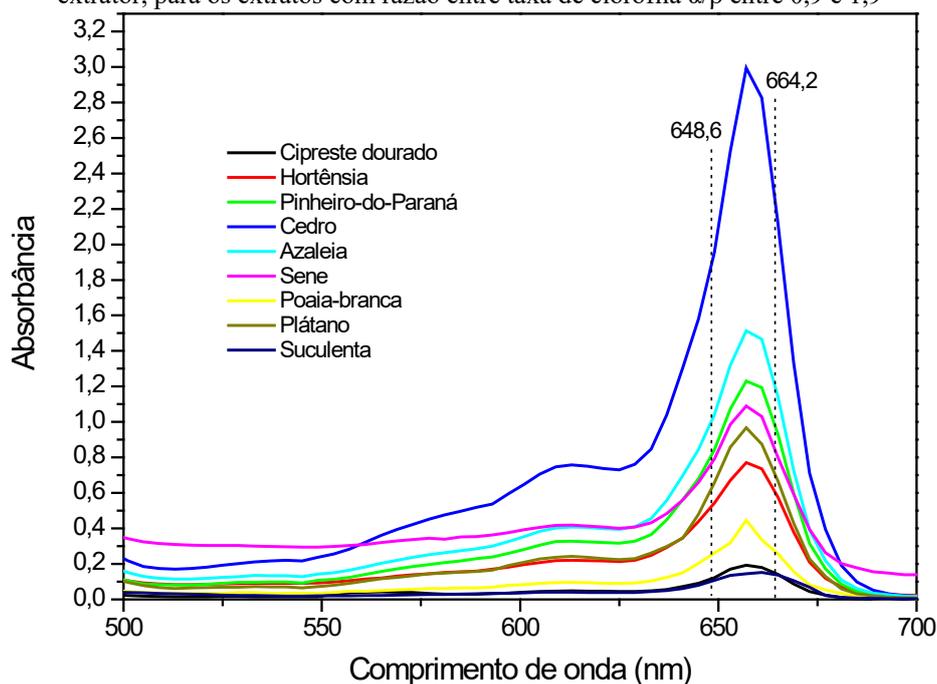
Nome científico	Nome Comum	C_{α} (ug/g)	C_{β} (ug/g)	Razão C_{α}/C_{β}
<i>Cupressus</i> sp.	Cipreste comum	22,2	31,2	0,7
<i>Senecio</i> sp.	Maria-mole	25,5	35,4	0,7
<i>Trifolium</i> sp.	Trevo-branco	91,1	123,1	0,7
<i>Desmodium</i> sp.	Carrapicho beijo-de-boi	61,1	82,9	0,7
<i>Eucaliptus</i> sp.	Eucalipto	25	34,3	0,7
<i>Solanum</i> sp.	Fumo-bravo	51	70,8	0,7
<i>Bromelia</i> sp.	Abacaxizinho	38	57,4	0,7
<i>Sida</i> sp.	Guanchuma	13,7	19,9	0,7
<i>Taraxacum</i> sp.	Dente-de-leão	41,8	53,5	0,8
<i>Baccharis</i> sp.	Vassourinha	59,9	78	0,8
<i>Lagerstroemia</i> sp.	Extremosa	22,5	28,9	0,8
<i>Equisetum</i> sp.	Cavalinha	22,8	27,3	0,8

C_{α} : taxa de clorofila alfa (α); C_{β} : taxa de clorofila beta (β); C_{α} (ug.g): taxa de clorofila α em microgramas por grama de material vegetal; C_{β} (ug.g): taxa de clorofila β em microgramas por grama de material vegetal. As taxas de C_{α} e C_{β} foram convertidas em $\mu\text{g/g}$ (LICHTENTHALER; BUSCHMANN, 2001)

Fonte: Os autores

Na Figura 4 observa-se o comportamento espectroscópico dos extratos de material vegetal com razão entre taxa de clorofila α/β entre 0,9 e 1,9 utilizando etanol 95 % como solvente extrator.

Figura 4: Espectros de UV-Visível dos extratos de material vegetal utilizando etanol 95 % como solvente extrator, para os extratos com razão entre taxa de clorofila α/β entre 0,9 e 1,9



Fonte: Os autores

Cipreste dourado, hortênsia, pinheiro-do-Paraná, azaléia, sene e plátano possuem razão entre a taxa de clorofila α/β de 0,9. O cipreste-dourado é uma conífera que contém compostos fenólicos, alguns deles glicosilados (ZHANG et al., 2013), semelhante à hortênsia, planta que a cor da sépala varia com as condições ambientais (YOSHIDA et al., 2003), devido aos antocianos presentes em sua constituição, permitindo seu uso como indicador alternativo de pH (SILVA et al., 2020), compostos estes também presentes na azaleia (LIU et al., 2016). O pinheiro-do-Paraná, também é conhecido como araucária, sendo uma espécie que ocorre naturalmente no Brasil (CARVALHO, 2002). O sene apresenta extrato aquoso com potencial antimutagênico e genotóxico (SILVA et al., 2008) enquanto que a partir de folhas residuais de plátano foi desenvolvido um inibidor de corrosão ambientalmente amigável (LIU et al., 2020). Cedro, suculenta e poaia-branca apresentam razão entre a taxa de clorofila α/β maior que 1,0. Estudos demonstram que a partir de extratos de cedro foram isolados limonóides que apresentaram atividade inseticida moderada contra formigas (AMBROZIN et al., 2006), enquanto suculentas da espécie *Agave* apresentam atividade antimicrobiana contra bactérias e fungos (VERÁSTEGUI et al., 2008). Por fim, com a maior razão entre a taxa de clorofila α/β , temos a poaia-branca, uma das principais plantas que infestam espontaneamente os agroecossistemas na América do Sul (ROSSETO; PITELLI; PITELLI, 1997). A Tabela 3 apresenta as taxas de taxa de clorofila alfa (α) e beta (β) em ordem crescente da razão entre a taxa de clorofila α/β entre 0,9 e 1,9.

Tabela 3: Taxas de clorofila alfa (α) e beta (β) em ordem crescente da razão entre a taxa de clorofila α/β entre 0,9 e 1,9.

Nome científico	Nome Comum	C_{α} (ug/g)	C_{β} (ug/g)	Razão C_{α}/C_{β}
<i>Chamaecyparis</i> sp.	Cipreste dourado	8,1	8,9	0,9
<i>Hydrangea</i> sp.	Hortênsia	34,3	39,8	0,9
<i>Araucaria</i> sp.	Pinheiro-do-Paraná	55,1	64,3	0,9
<i>Rhododendron</i> sp.	Azaleia	71,3	78,1	0,9
<i>Cassia</i> sp.	Sene	99,3	116,4	0,9
<i>Platano</i> sp.	Plátano	84,5	89,8	0,9
<i>Cedrela</i> sp.	Cedro	141,7	139,4	1,0
<i>Agave</i> sp.	Suculenta	15,2	13,5	1,1
<i>Richardia</i> sp.	Poaia-branca	56,7	29,4	1,9

C_{α} : taxa de clorofila alfa (α); C_{β} : taxa de clorofila beta (β); C_{α} (ug.g): taxa de clorofila α em microgramas por grama de material vegetal; C_{β} (ug.g): taxa de clorofila β em microgramas por grama de material vegetal. As taxas de C_{α} e C_{β} foram convertidas em $\mu\text{g/g}$ (LICHTENTHALER; BUSCHMANN, 2001)

Fonte: Os autores

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As taxas de clorofila α e de clorofila β foram avaliadas para 31 espécies da Região Sudoeste do Paraná, demonstrando variação nas taxas de clorofila α e de clorofila β bem como na razão de clorofila α/β . Estudos de monitoramento das taxas de clorofila apontam para uma potencialidade desta abordagem em ambientes de ensino, pesquisa, extensão, ambientes de cultivo comercial bem como em estudos de monitoramento ambiental.

REFERÊNCIAS

AL-SNAFI, A. E. Medical importance of *Cupressus sempervirens*-A review. **IOSR Journal of Pharmacy**. v. 6, n. 6, p. 66-76, 2016.

AL-SNAFI, A. E. The pharmacology of *Equisetum arvense*-A review. **IOSR Journal of Pharmacy**. v. 7, n. 2, p. 31-42, 2017.

AL-SNAFI, A. E. A review on *Lagerstroemia indica*: A potential medicinal plant. **IOSR Journal of Pharmacy**. v. 9, n. 6, p. 36-42, 2019.

AMBROZIN, A. R., et al. Limonoids from andiroba oil and *Cedrela fissilis* and their insecticidal activity. **Journal of the Brazilian Chemical Society**. v. 17, n., p. 542-547, 2006.

ANASTÁCIO, M. R.; SANTANA, D. G. Características germinativas de sementes de *Ananas ananassoides* (Baker) LB Sm.(Bromeliaceae. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**. v. 32, n. 2, p. 195-200, 2010.



ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F. D.; BORTOLINI, C. G. Clorofila na folha como indicador do nível de nitrogênio em cereais. **Ciência Rural**. v. 31, n., p. 715-722, 2001a.

ARGENTA, G., et al. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**. v. 13, n., p. 158-167, 2001b.

BALDOTTO, L. E. B., et al. Desempenho do abacaxizeiro 'Vitória' em resposta à aplicação de ácidos húmicos durante a aclimação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 33, n., p. 979-990, 2009.

BARTOLOME, A. P.; VILLASEÑOR, I. M.; YANG, W.-C. *Bidens pilosa* L. (Asteraceae): Botanical Properties, Traditional Uses, Phytochemistry, and Pharmacology. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**. v. 2013, n., p. 340215, 2013.

BERNARDI, F.; NICOLINI, K. P.; NICOLINI, J. Estudo fitoquímico de *Hydrangea* sp. por meio de métodos clássicos de análise por espectroscopia no ultravioleta visível (UV-Vis) e cromatografia em coluna e em papel. **Infarma-Ciências Farmacêuticas**. v. 29, n. 1, p. 68-70, 2017.

CARVALHO, P. E. R. Pinheiro-do-paraná. **Embrapa Florestas-Circular Técnica (INFOTECA-E)**. v., n., p., 2002.

CHIANG, Y.-M., et al. Metabolite profiling and chemopreventive bioactivity of plant extracts from *Bidens pilosa*. **Journal of Ethnopharmacology**. v. 95, n. 2, p. 409-419, 2004.

CORONETTI, M. R., et al. Avaliação in vitro de alterações em *Lactuca* spp. de *Saccharomyces cerevisiae* na presença de fármacos. **Infarma-Ciências Farmacêuticas**. v. 29, n. 2, p. 133-140, 2017.

DE RAMOS, E. K. K., et al. Análise do tratamento térmico de tegumentos de Araucaria na presença de ureia em culturas de *Saccharomyces cerevisiae* e *Eruca sativa*, visando o seu uso potencial como insumo agrícola. **Revista Thema**. v. 19, n. 1, p. 107-119, 2021.

DOS SANTOS, D. A., et al. Anti-inflammatory and antinociceptive effects of *Baccharis dracunculifolia* DC (Asteraceae) in different experimental models. **Journal of Ethnopharmacology**. v. 127, n. 2, p. 543-550, 2010.

DUTRA, L. F.; WENDLING, I.; BRONDANI, G. E. A micropropagação de eucalipto. **Embrapa Florestas-Artigo em periódico indexado (ALICE)**. v., n., p., 2009.

FACHINETTO, J. M., et al. Efeito anti-proliferativo das infusões de *Achyrocline satureioides* DC (Asteraceae) sobre o ciclo celular de *Allium cepa*. **Revista Brasileira de Farmacognosia**. v. 17, n., p. 49-54, 2007.

FREITAS, F., et al. Eficiência do triclopyr no controle de plantas daninhas em gramado (*Paspalum notatum*). **Planta Daninha**. v. 21, n., p. 159-164, 2003.

FUERST, E. P., et al. Paraquat resistance in *Conyza*. **Plant Physiology**. v. 77, n. 4, p. 984-989, 1985.



GIRELLI, G. C., et al. Reflectance and ultraviolet spectroscopy: predicting the relative growth of *Saccharomyces cerevisiae* in pine biomass. **Spectroscopy Letters**. v. 52, n. 2, p. 91-97, 2019.

JEON, H.-J., et al. Anti-inflammatory activity of *Taraxacum officinale*. **Journal of Ethnopharmacology**. v. 115, n. 1, p. 82-88, 2008.

LANFER-MARQUEZ, U. M. O papel da clorofila na alimentação humana: uma revisão. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**. v. 39, n., p. 227-242, 2003.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in Enzymology**. v. 148, n. 34, p. 350-382, 1987.

LICHTENTHALER, H. K.; BUSCHMANN, C. Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy. **Current Protocols in Food Analytical Chemistry**. v. 1, n. 1, p. F4.3.1-F4.3.8, 2001.

LICHTENTHALER, H. K.; LESTER PACKER, R. D. 1987a. [34] Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes, *Methods in Enzymology*, Vol. Volume 148: 350-382: Academic Press.

LICHTENTHALER, H. K.; LESTER PACKER, R. D. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in Enzymology**. v. 148, n. -, p. 350-382, 1987b.

LIU, L., et al. Analysis of anthocyanins and flavonols in petals of 10 *Rhododendron* species from the Sygera Mountains in Southeast Tibet. **Plant Physiology and Biochemistry**. v. 104, n. -, p. 250-256, 2016.

LIU, Q., et al. A novel green reinforcement corrosion inhibitor extracted from waste *Platanus acerifolia* leaves. **Construction and Building Materials**. v. 260, n., p. 119695, 2020.

MARTINS, M. D. R., et al. Antioxidant, antimicrobial and toxicological properties of *Schinus molle* L. essential oils. **Journal of Ethnopharmacology**. v. 151, n. 1, p. 485-492, 2014.

OLIVO, C. J., et al. Produção de forragem e carga animal em pastagens de capim-elefante consorciadas com azevém, espécies de crescimento espontâneo e trevo-branco ou amendoim forrageiro. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 38, n., p. 27-33, 2009.

OTTO, E. M., et al. New insights into the phylogeny of *Pleopeltis* and related Neotropical genera (Polypodiaceae, Polypodiopsida). **Molecular Phylogenetics and Evolution**. v. 53, n. 1, p. 190-201, 2009.

PANZIERA, W., et al. Intoxicação natural por *Senecio brasiliensis* em equinos. **Pesquisa Veterinária Brasileira**. v. 37, n., p. 313-318, 2017.

PICCOLO, G., et al. Efeito alelopático de capim limão e sabugueiro sobre a germinação de guaxuma. **Semina: Ciências Agrárias**. v. 28, n. 3, p. 381-386, 2007.

RABELO, A. C. S.; COSTA, D. C. A review of biological and pharmacological activities of *Baccharis trimera*. **Chemico-Biological Interactions**. v. 296, n., p. 65-75, 2018.



ROSO, R., et al. Controle de flor roxa (*Echium plantagineum* L.) e seletividade à herbicidas pós-emergentes em cultivo de azevém. **Revista Cultura Agronômica**. v. 26, n. 3, p. 297-309, 2017.

ROSSETO, R. R.; PITELLI, R. L.; PITELLI, R. A. Estimativa da área foliar de plantas daninhas: poaia-branca. **Planta Daninha**. v. 15, n., p. 25-29, 1997.

SCHMITT, J. L.; SCHNEIDER, P. H.; WINDISCH, P. G. Crescimento do cáudice e fenologia de *Dicksonia sellowiana* Hook.(Dicksoniaceae) no sul do Brasil. **Acta Botanica Brasilica**. v. 23, n., p. 283-291, 2009.

SHIMIZU, J. Y. **Pinus na silvicultura brasileira**: Colombo: Embrapa Florestas, 2008. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/315381>. Acesso em 25 out., 2021.

SILVA, C. R., et al. Assessment of antimutagenic and genotoxic potential of senna (*Cassia angustifolia* Vahl.) aqueous extract using in vitro assays. **Toxicology in Vitro**. v. 22, n. 1, p. 212-218, 2008.

SILVA, J. M. D., et al. Extratos de *Lilium* sp., *Agapanthus* sp. e *Hydrangea* sp.: Comportamento como indicadores naturais em diferentes faixas de pH. **Química Nova**. v. 43, n. 2, p. 231-238, 2020.

SIMÕES, C. M. O., et al. Pharmacological investigations on *Achyrocline satureioides* (Lam.) DC., compositae. **Journal of ethnopharmacology**. v. 22, n. 3, p. 281-293, 1988.

SIQUEIRA, D. S. D., et al. Determinação de compostos de massa molecular alta em folhas de plantas da Amazônia. **Química Nova**. v. 26, n., p. 633-640, 2003.

SORATTO, R. P.; CARVALHO, M. A. C. D.; ARF, O. Teor de clorofila e produtividade do feijoeiro em razão da adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 39, n., p. 895-901, 2004.

SOUZA, L. A. D., et al. Tolerância e potencial fitorremediador de *Stizolobium aterrimum* associada ao fungo micorrízico arbuscular *Glomus etunicatum* em solo contaminado por chumbo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 35, n., p. 1441-1451, 2011.

TAPONDJOU, A. L., et al. Bioactivities of cymol and essential oils of *Cupressus sempervirens* and *Eucalyptus saligna* against *Sitophilus zeamais* Motschulsky and *Tribolium confusum* du Val. **Journal of Stored Products Research**. v. 41, n. 1, p. 91-102, 2005.

TEGEGNE, G.; PRETORIUS, J. C.; SWART, W. J. Antifungal properties of *Agapanthus africanus* L. extracts against plant pathogens. **Crop Protection**. v. 27, n. 7, p. 1052-1060, 2008.

TELAXKA, F. J., et al. Extrato aquoso e fermentado de fumo-bravo (*Solanum mauritianum* Scop) na proteção do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) ao crestamento bacteriano comum. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**. v. 8, n. 3, p. 81-90, 2018.

TORRES, L. M. B., et al. Diterpene from *Baccharis trimera* with a relaxant effect on rat vascular smooth muscle. **Phytochemistry**. v. 55, n. 6, p. 617-619, 2000.



TREZZI, M. M., et al. Resistência ao glyphosate em biótipos de buva (*Conyza* spp.) das regiões oeste e sudoeste do Paraná. **Planta Daninha**. v. 29, n., p. 1113-1120, 2011.

VARGAS, L., et al. Buva (*Conyza bonariensis*) resistente ao glyphosate na região sul do Brasil. **Planta Daninha**. v. 25, n., p. 573-578, 2007.

VERÁSTEGUI, Á., et al. Species of *Agave* with antimicrobial activity against selected pathogenic bacteria and fungi. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**. v. 24, n. 7, p. 1249-1252, 2008.

VIEIRA, D. A. D. P., et al. Fluorescência e teores de clorofilas em abacaxizeiro cv. Pérola submetido a diferentes concentrações de sulfato de amônio. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v. 32, n., p. 360-368, 2010.

YOSHIDA, K., et al. Sepal color variation of *Hydrangea macrophylla* and vacuolar pH measured with a proton-selective microelectrode. **Plant and Cell Physiology**. v. 44, n. 3, p. 262-268, 2003.

ZANQUETTI, A., et al. Influência do tratamento hidrotérmico na energia de *band gap* de carvões de *Eucalyptus* spp. **Revista Thema**. v. 15, n. 1, p. 25-33, 2018.

ZHANG, Y.-M., et al. A New Phenolic Glycoside from *Chamaecyparis obtusa* var. *breviramea* f. *crippsii*. **Molecules**. v. 18, n. 1, p. 1255-1261, 2013.



CAPÍTULO 9

ANÁLISE DA COBERTURA VEGETAL ATRAVÉS DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA NA CIDADE DE JUAZEIRO DO NORTE – CE

DOI: 10.47402/ed.ep.c20229199974

Antônio Soares Barros
Lucas Menezes de Farias
Jefferson Luiz Alves Marinho

RESUMO

Dados de sensoriamento remoto são fundamentais em pesquisas voltadas a estudos do comportamento da vegetação, assim como no monitoramento de fenômenos meteorológicos e ambientais. Nesse contexto, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) tem sido amplamente utilizado para o monitoramento e avaliação da vegetação, pois é um dos primeiros produtos analíticos de sensoriamento remoto usado para simplificar as complexidades das imagens multiespectrais. Dessa maneira, o monitoramento preciso e oportuno das características da superfície da Terra fornece a base para uma melhor compreensão das interações e relações entre os fenômenos humanos e naturais visando um melhor uso e gerenciamento de recursos. Nesse sentido, o objetivo desse artigo é realizar a geração de um mapa temático da situação da cobertura vegetal do município de Juazeiro do Norte-CE a partir do (NDVI). Para a realização deste trabalho foi utilizado o Sistema de Informação Geográfica (SIG QGIS), versão 2.18. O NDVI foi calculado a partir de imagens de satélites obtidas de forma gratuita no site Earth Explorer. Destaca-se como resultados que o NDVI máximo foi 0,60901. Esse valor próximo a 1 (um) indica uma boa quantidade de cobertura vegetal densa. Dessa forma, a aplicação do NDVI foi relevante para identificar como se encontra a atual situação do município em relação à sua vegetação, pois esse índice pode auxiliar nas tomadas de decisões por parte da gestão pública no planejamento ambiental, uma vez que funciona como indicador de áreas verdes. Portanto, essa técnica pode melhorar a detecção de alterações na vegetação em estudos futuros.

PALAVRAS-CHAVE: Índice de Vegetação, Sensoriamento Remoto, Cobertura Vegetal.

INTRODUÇÃO

Em países de grande extensão como o Brasil, a observação da Terra através de sistemas de satélite baseados em scanners multiespectrais de média resolução é uma das formas mais eficientes e econômicas de obter informações relevantes sobre os recursos naturais terrestres e as condições da vegetação (MALLMANN; PRADO; PEREIRA FILHO, 2015).

Francisco *et al.* (2020) afirmam que devido o avanço tecnológico na obtenção de dados da superfície terrestre por sensores remotos, as imagens multiespectrais passam a ser a principal fonte de dados, promovendo a redução da frequência de trabalhos de campo, a coleta de dados em locais de difícil acesso e a obtenção de dados com resoluções espaciais, espectrais e radiométricas cada vez mais apuradas.



Nesse sentido, as imagens multiespectrais detectadas remotamente contêm uma combinação de bandas que cria uma imagem composta a ser usada para interpretação e análise. Com imagens multiespectrais, as bandas individuais no composto da banda podem ser transformadas para que certos recursos e padrões se destaquem melhor. As transformações de banda de imagem tornaram-se uma prática comum para gerar novas imagens de duas ou mais bandas de imagem para extração de informações. As novas imagens geradas dessa maneira aprimoram as representações dos objetos no solo, como a vegetação. Existem mais de cem índices de vegetação derivados de imagens multiespectrais (XUE; SU, 2017).

Nesse contexto, na última década, o conhecimento acerca dos índices de vegetação, sobretudo, o NDVI, tem se destacado de forma significativa, em virtude de ser um dos mais relevantes indicadores para a análise da cobertura de vegetação em diferentes períodos utilizando técnicas de sensoriamento remoto. Uma das justificativas dessa ascensão no meio científico é que a utilização desse índice permite a monitoração de mudanças temporais de determinadas atividades, além de analisar o estágio de crescimento da vegetação juntamente com as mudanças na cobertura do solo causadas por atividades antrópicas, assim como seu desenvolvimento.

Os índices de vegetação têm como objetivo enfatizar o comportamento espectral da vegetação em relação ao solo e outros alvos da superfície terrestre (SILVA *et al.*, 2019). Xue e Su (2017) defendem que esses índices são algoritmos simples e eficazes para avaliar o vigor e a dinâmica da vegetação terrestre. Os autores supracitados ressaltam que esses índices apresentam particularidades quanto à sua sensibilidade em relação aos alvos, uma vez que essa relação é influenciada por fatores inerentes ao alvo.

Rokni e Musa (2019) afirmam que os índices de vegetação foram desenvolvidos para caracterizar e extrair a cobertura vegetal da Terra do espaço usando imagens de satélite. Para a detecção de alterações na vegetação, as imagens temporais são geralmente analisadas independentemente ou a diferenciação do índice de vegetação é implementada.

Corroborando com esse entendimento, Leite, Santos e Santos (2017) declaram que os índices de vegetação são utilizados como ferramentas apropriadas no gerenciamento e monitoramento da vegetação, uma vez que podem detectar alterações na cobertura vegetal com rapidez e baixo custo operacional.

Em meio a esse contexto, Dagnachew *et al.* (2020) admitem que o NDVI tem sido o índice mais utilizado na dinâmica da vegetação. Nessa conjuntura, o NDVI é utilizado



principalmente em estudos de caráter ambiental, que nos permite fazer análises, em diversas escalas, sobre a cobertura vegetal de determinada região (ALBUQUERQUE; SILVA; SALES, 2019).

Janssen *et al.* (2018) argumentam que o NDVI têm sido amplamente aplicado para o mapeamento da cobertura vegetal porque é altamente sensível à vegetação esparsa e à vegetação densa. Há uma variedade de índices de vegetação e cada um tem suas forças e limitações (LORANTY *et al.*, 2018; XUE e SU, 2017). Todavia, a confiabilidade do NDVI determina diretamente a robustez dos modelos relacionados ao seu índice (BUTT, 2018).

Para Kalisa *et al.* (2019), o NDVI, derivado de dados de satélite, é um indicador importante que pode ser usado para analisar a dinâmica da vegetação verde e revelar a resposta da dinâmica da vegetação à variabilidade climática. Destarte, o NDVI é o índice mais utilizado para monitorar a dinâmica espaço-temporal da vegetação verde e estudos ecoclimatológicos (CHU *et al.*, 2019; KALISA *et al.*, 2019; DETSCH *et al.*, 2016; ZEWDIE; CSAPLOVICS; INOSTROZA, 2017).

O cálculo dos valores de NDVI requer o processamento de imagens derivadas de sensores orbitais e, dependendo da abrangência espacial e temporal da análise, processadores robustos e espaço de armazenamento adequado para um grande volume de dados (AIRES *et al.*, 2020).

Prever a medida NDVI é relevante pelo menos por duas razões. Primeiro, é uma visão do rendimento futuro no que diz respeito à condição da vegetação natural, através das imagens geradas por sensores remotos, normalmente por satélites, drones ou sensores terrestres. Segundo, se o verdadeiro valor do NDVI estiver bem abaixo do valor esperado, existe uma anomalia que deve ser atendida.

No entendimento de Leite, Santos e Santos (2017), os avanços tecnológicos relacionados com o uso de imagens de satélites permitem o monitoramento da superfície terrestre, como por exemplo, de ações antrópicas e modificações ambientais. Esta ciência de se obter informações sobre um objeto, área ou fenômeno por meio de dados obtidos por aparelhos distantes do alvo, são conhecidas como sensoriamento remoto, e tornam-se atrativas, pois reduzem custos e apresentam maior rapidez na obtenção de informação.

Assim, o uso de geotecnologias é indispensável no tratamento e obtenção de imagens da superfície terrestre adquiridas por sensores orbitais, por meio das interações da radiação



eletromagnética com alvos ali encontrados (SANTOS *et al.*, 2015; MARQUES *et al.*, 2017; TAKATORI *et al.*, 2017).

Em função disso, o Sensoriamento Remoto passou a ser utilizado em grande escala durante as últimas décadas, pois seus dados são primordiais em pesquisas voltadas a estudos do comportamento da vegetação, assim como no monitoramento de fenômenos meteorológicos e ambientais (ANDRADE *et al.*, 2018).

Dessa maneira, a tecnologia de sensoriamento remoto utilizando imagens de satélite oferece oportunidades importantes para detectar e monitorar mudanças ambientais em escala local, regional ou global (OCHTYRA; MARCINKOWSKA-OCHTYRA; RACZKO, 2020).

A partir do processamento visual e digital de imagens do sensoriamento remoto, é possível extrair informações biofísicas da vegetação, podendo ser aplicadas a estudos sobre variações e dinâmicas dos ecossistemas florestais (MALLMANN; PRADO; PEREIRA FILHO, 2015).

Nesse tocante, a aplicação de técnicas de sensoriamento orbital tornou-se imperativa para o monitoramento adequado das mudanças na cobertura vegetal (AIRES *et al.*, 2020). Esse monitoramento fornece informações em larga escala e permite que mudanças sejam identificadas através da análise de componentes meteorológicos, como índices de vegetação (FATHIZAD *et al.*, 2017).

Seguindo tal perspectiva conceitual, a vegetação é considerada um dos indicadores mais expressivos em estudos de qualidade ambiental, estando diretamente relacionada a outros indicadores igualmente importantes, como os elementos climáticos, hídricos, geomorfológicos, econômicos e também aos processos de produção do espaço em sociedade (SOUZA e AMORIM, 2016). Para Wang *et al.* (2020), o monitoramento das mudanças dinâmicas da vegetação desempenha um papel importante na compreensão das mudanças ecológicas.

Como a vegetação é um dos principais elementos dos ecossistemas terrestres e um indicador de diferentes processos biofísicos, é importante ter ferramentas adequadas para monitorá-la. Os índices espectrais de vegetação têm sido uma das maneiras mais eficazes de avaliar as propriedades de cobertura vegetal em grandes escalas, e o NDVI tem sido um dos mais amplamente utilizados (FLORES *et al.*, 2020).

Hu e Xia (2019) declaram que os fatores que influenciam as mudanças da vegetação são de grande preocupação. Não é difícil imaginar que atividades humanas, incluindo atividades



econômicas e sociais, possam ter impactos diretos ou indiretos na vegetação em diferentes estágios do desenvolvimento econômico.

Desse modo, a cobertura vegetal se apresenta como um fator importante na manutenção dos recursos naturais renováveis (ALBUQUERQUE; SILVA; SALES, 2019). Logo, o estudo da vegetação é uma das principais aplicações do sensoriamento remoto, devido à relevância dos recursos vegetais e, também, pela sensibilidade que os sensores possuem para captar informações biofísicas das plantas.

Além disso, a gestão ambiental compreende-se como a gerência das relações entre o ambiente e os seres humanos (COSTA *et al.*, 2017). A relação entre pessoas e ambiente é fundamental para o desenvolvimento sustentável, principalmente no que concerne ao ambiente urbano, haja vista que a população aumenta em diferentes escalas concomitantemente a evolução urbana. Assim, a gestão ambiental é essencial para minimizar os impactos gerados pelos seres humanos (EDUVIRGEM *et al.*, 2018).

Dito isso, este trabalho justifica-se, primeiramente, pelo fato das constantes mudanças ambientais e seus impactos nos sistemas naturais e nas sociedades humanas serem tópicos de pesquisa em uma ampla gama de campos científicos nos últimos anos. Nesse âmbito, o tema a ser estudado é relevante na detecção de alterações na vegetação do município de Juazeiro do Norte, além de monitorar a expansão urbana das atividades que degradam áreas com vegetação. Ademais, o problema de pesquisa a ser analisado interfere também em padrões identificados na vegetação local que podem ser úteis para determinar sinais de alerta precoce de mudanças no seu crescimento nas áreas territoriais, com base em informações de sensoriamento remoto, pois o mesmo oferece uma maneira eficiente e discreta de monitorar as características da vegetação.

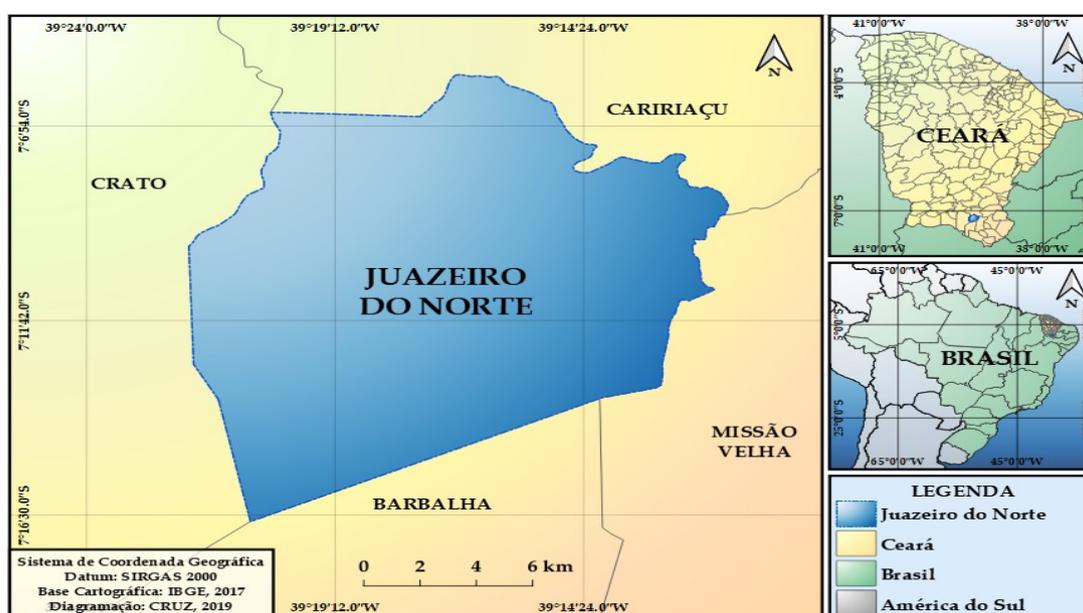
A hipótese levantada nesta pesquisa é que através do resultado do NDVI para toda a extensão territorial da cidade de Juazeiro do Norte, tanto a sede municipal quanto seus Distritos e povoados, se encontram em um processo de forte urbanização.

Baseando-se nesses aspectos, o principal objetivo deste trabalho é realizar a geração de um mapa temático da situação da cobertura vegetal do município de Juazeiro do Norte-CE, a partir do NDVI.

METODOLOGIA

Área de estudo

O município de Juazeiro do Norte-CE, situado no Sul do estado do Ceará, distante 491 km da capital Fortaleza e pertencente à Região Metropolitana do Cariri (RMC) tem uma população estimada em 274.207 habitantes, distribuídos em uma área de 248,832 Km², no qual, aproximadamente 96% residem em zona urbana (IBGE, 2019). Está localizado na região Nordeste ao Sul do estado do Ceará, precisamente entre 7° 12' 47" de latitude Sul (S) e 39° 18' 55" de longitude Oeste (W), e limita-se ao Norte com o município de Caririaguçu, ao Sul com o município de Crato, Barbalha e Missão Velha, ao leste com o município de Missão velha e Caririaguçu e ao Oeste com o município de Crato, conforme a Figura 1 abaixo.



Procedimentos metodológicos

Para o cálculo do NDVI utilizou-se imagens do satélite *Landsat-8*, órbita 217/070, disponibilizadas de forma gratuita no site *United States Geological Survey* (USGS). Rokni e Musa (2019) asseguram que as imagens do *Landsat* são uma das fontes de dados mais amplamente utilizadas no sensoriamento remoto.

Os processos metodológicos foram realizados no (SIG QGIS), versão 2.18, utilizando as imagens selecionadas, por serem as mais atuais e com as características desejadas. Para o cálculo do NDVI, as imagens escolhidas obrigatoriamente foram as bandas 4R (4 Red) e 5NIR (5 Ned Infrared NIR), que trabalham com comprimento de ondas visíveis na cor vermelha e comprimento de ondas no infravermelho próximo. Utilizou-se também o arquivo vetorial

disponibilizado no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) do limite do município de Juazeiro do Norte, na escala de 1:15000.

A primeira etapa consistiu em realizar um recorte no arquivo vetorial de limites municipais. Esse recorte foi extraído do *Shapefile* do estado do Ceará, que também está disponível no site do IBGE. O recorte foi realizado no QGIS utilizando a ferramenta “Selecionar feição”. A seguinte etapa foi a importação no QGIS das imagens baixadas (Banda B5 e Banda B4) e o cálculo de reflectância através da Calculadora *Raster*, utilizando inicialmente a fórmula para correção atmosférica descrita abaixo:

$$P\lambda' = \frac{((Mp \times Qcal) + Ap)}{\text{Seno}(SE)} \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

$P\lambda'$ = Reflectância planetária, com correção do ângulo solar (elevação do sol);

Mp = Fator de Multiplicação (0,0002);

$Qcal$ = Nível digital (ND) do pixel da banda, (ND da Banda 4 = 30633 e Banda 5 = 35756);

Ap = Fator aditivo de redimensionamento (-0,1);

$\text{Seno}(SE)$ = Seno da elevação solar (53,6013).

Utilizando os dados do nível digital (ND) do pixel das bandas utilizadas tem-se os seguintes dados para correção atmosférica: Correção atmosférica (Banda 4) – 0,63767 e Correção atmosférica (Banda 5) – 0,76422.

Com a devida correção atmosférica foi possível calcular o NDVI através da Calculadora *Raster* do QGIS, através da fórmula apresentada a seguir, onde, ρ_{NIR} e ρ_{RED} são, respectivamente, os elementos de reflectância bidirecional de superfície para as bandas do infravermelho próximo (NIR) e do vermelho (RED).

$$NDVI: \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \quad (\text{equação 2})$$

Para validação dos dados, foi utilizado o método estatístico Kappa (K). A estatística do índice (K) é um método de validação de mapas que estatisticamente possibilita realizar uma análise de forma confrontante aos resultados estabelecidos com o objetivo de mensurar sua qualidade. O coeficiente (K), pode ser encontrado a partir da seguinte equação:

$$K: \frac{Po - Pe}{1 - Pe} \quad (\text{equação 3})$$

Em que:

K = coeficiente Kappa;

Po = exatidão geral da classificação;

Pe = $\sum_{i=1}^k P_i * P_{.i}$, sendo, Pi = Somatório da linha;

P.i = Somatório da coluna.

Vale destacar que a interpretação da magnitude do coeficiente (K) varia entre valores menores que 0 (zero), cuja força de concordância é insatisfatória, até valores de 0,81 a 1, em que sua força de concordância é considerada quase perfeita.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores obtidos através do cálculo do NDVI estão divididos e classificados conforme o Quadro 1, onde uma grande quantidade de cobertura vegetal densa conotaria um valor de NDVI próximo de (+ 1):

Quadro 1: Classificação das classes de NDVI em Juazeiro do Norte/CE.

Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI)	Caracterização
-1,0	Corpos d'água, Área edificada
-0,5	Solo exposto
0,0	Vegetação arbustiva aberta
0,5	Vegetação arbustiva fechada
1,0	Vegetação arbórea arbustiva

Fonte: Autores (2017)

Os resultados obtidos através da classificação supervisionada com o *Semi-Automatic Classification Plugin*, disponível no QGIS, possibilitaram realizar a quantificação das classes do NDVI, aumentando a confiabilidade das informações avaliada pelo índice (K), calculado a partir dos dados de referência da matriz confusa.

Em seguida, de acordo com a classificação do índice (K), o resultado encontrado é considerado uma validação quase perfeita, conforme a seguinte equação:

$$K = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e} = \frac{0,92 - 0,36}{1 - 0,36} = 0,87 \quad (\text{equação 4})$$

Ao concluir o processo, é possível observar no Quadro 2 a seguir, os resultados das análises descritivas do NDVI da área de estudo no ano de 2017.

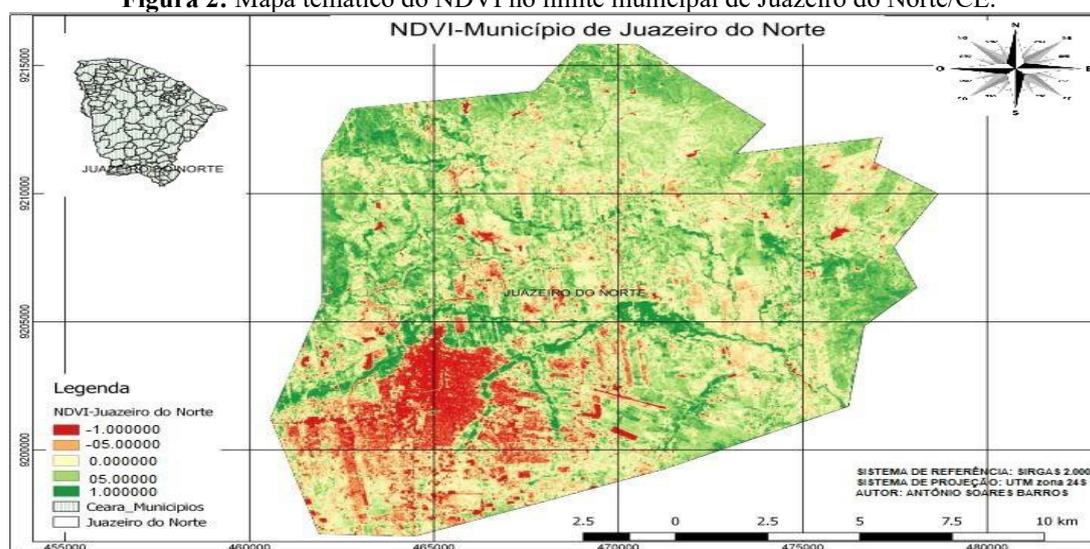
Quadro 2: Estatísticas descritivas e distribuição de frequência do NDVI.

Estatística do NDVI							
Ano	Média	DP	Min	Max	Curtose	Amplitude	Assimetria
2017	0,3551	0,2035	0,0134	0,6090	5,2487	0,5956	-1,0678

Fonte: Autores (2017)

Foram tomados todos os cuidados necessários que o profissional que trabalha com geoprocessamento deve ter em suas análises ambientais por ferramentas remotas. O mapa temático representado na Figura 2 não apresenta presença de nuvens, o que poderia influenciar bastante nos resultados. No entanto, foi aplicado a correção atmosférica nas imagens, por isso foi realizado um tratamento nas imagens.

Figura 2: Mapa temático do NDVI no limite municipal de Juazeiro do Norte/CE.



Fonte: Autores (2017)

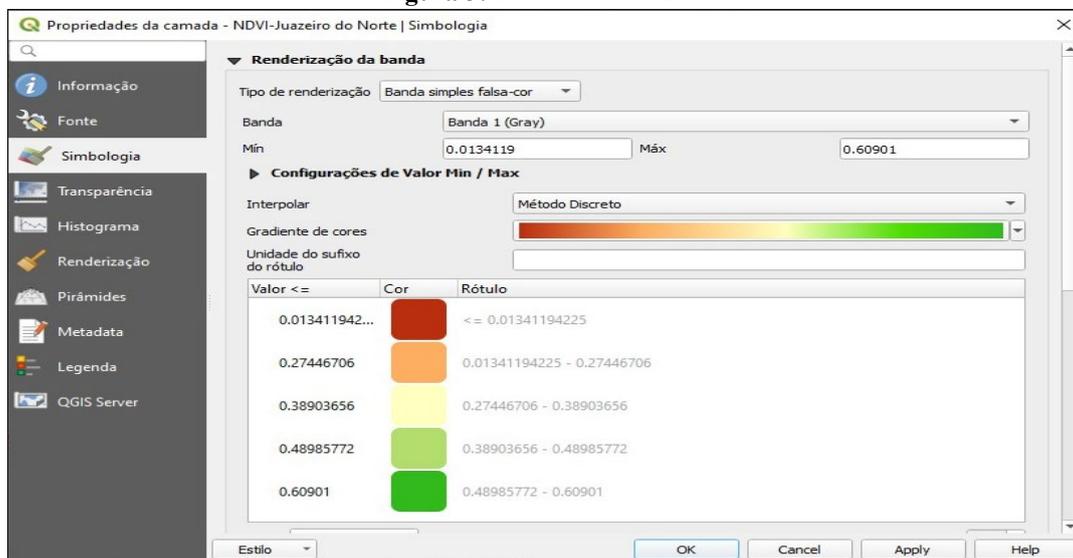
Conforme amostragem extraída de área dentro do limite do município (Figura 2), há porções de cores que variam de +1 (grande quantidade de vegetação arbórea arbustiva) a -1 (áreas marcadas por presença de corpos d'água e áreas edificadas). Pode-se perceber que na porção central da imagem há uma área em cor laranja, caracterizada com o valor de -0,5. Por análise remota das áreas, estas se manifestam no espaço como áreas sem edificações e com solos expostos, sendo áreas que sofreram um processo de supressão da mata nativa ou em estágio inicial/médio de recuperação, dando lugar às atividades agropecuárias com árvores de pequeno porte ou ausentes, a exemplo de pastagens para criação de bovinos ou culturas de subsistência.

Percebe-se também na Figura 2 uma boa parcela de áreas em amarelo (NDVI com valor zero). Estas áreas apresentam-se com edificações e demonstram, pela dispersão desta cor na imagem, uma aleatoriedade na ocupação espacial do solo no território do município, fazendo frente a áreas com vegetações arbustivas e áreas utilizadas para atividades agropecuárias.

A área com maior presença de NDVI próximo de -1, encontra-se no centro da cidade e em bairros mais urbanizados, em que esse valor avança para interseção dos municípios de Crato e Barbalha, sendo que hoje é a área de expansão urbana do município de Juazeiro do Norte, como mostra na Figura 2.

Os resultados obtidos através da geração do mapa temático nesse estudo podem ser úteis também para auxiliar a identificar os impactos urbanísticos causados pela implantação de loteamentos regulares e/ou irregulares, assim como áreas ambientais degradadas, tendo em vista que a intensa expansão urbana realizada através da ocupação desordenada tem se apresentado no decorrer dos tempos, como um problema prejudicial para o meio ambiente e a sociedade.

Figura 3: Resultado do NDVI



Fonte: Autores (2017)

Através da Calculadora *Raster* do SIG QGIS versão 2.18, foi possível observar conforme a Figura 3, que o valor obtido através do cálculo do NDVI para toda a extensão territorial do município de Juazeiro do Norte foi de 0,60901. Este valor indica que todo o limite municipal se encontra em processo de forte urbanização, seja através da sede municipal onde tem acontecido diversas aberturas de novos loteamentos ou dos seus Distritos Municipais e povoados, porém ainda tem uma quantidade significativa de vegetação.

Os resultados obtidos neste trabalho enfatizam que órgãos públicos e privados têm necessidade de terem em mãos ferramentas como o sensoriamento remoto, que auxilia em estudos ambientais de forma eficaz, através dos elementos que constituem o uso e ocupação do solo em determinada área. Nesse âmbito, Silva *et al.* (2019) afirmam que o entendimento das formas de uso e ocupação do solo, com propósitos de modelagem e representando grandes áreas com bons níveis de detalhe, pode ser consideravelmente aprimorado usando ferramentas de



geoprocessamento. Além de reduzir o trabalho de campo, a extração de informações em imagens digitais de média resolução, como o satélite *Landsat 8*, permite que áreas maiores sejam estudadas em menos tempo.

Markogianni e Dimitriou (2016), entrando na discussão a respeito da correção atmosférica que foi utilizada nas imagens, conforme já explanado neste trabalho, os autores reconhecem a importância de sua aplicação previamente à extração do NDVI para diferenciação de classes de uso e cobertura da terra, sobretudo em áreas de intenso brilho (reflectância). Já Francisco *et al.* (2020) entendem que as operações aritméticas efetuadas entre bandas espectrais de imagens de sensoriamento remoto necessitam de correção atmosférica para eliminar os efeitos atmosféricos na resposta espectral dos alvos, pois os números digitais não apresentam escala equivalente em todas as bandas.

Ke *et al.* (2015) corroboram a constatação supracitada de Francisco *et al.* (2020), ao relatarem que, independentemente do tipo de dados de referência adotados, o uso de NDVI derivado da reflectância do topo da atmosfera aumenta sensivelmente os erros de medição, reforçando assim a necessidade da correção atmosférica antes do cálculo do NDVI.

Em meio a esse cenário, Padolfi, Ramaldes e Santos (2018) afirmam que os valores do NDVI variam entre +1 (mais um) a -1 (menos um), em que valores próximos de +1 indicam uma boa quantidade de cobertura vegetal densa. Por sua vez, -1 seria o valor aproximado para a ausência da vegetação, em que representa superfícies não vegetadas. Nesse sentido, justificase que esse índice tenha apresentado bons resultados na geração do mapa temático da cobertura vegetal do município de Juazeiro do Norte, uma vez que o NDVI gerado se aproximou de +1.

Silva *et al.* (2019) declaram que o NDVI é um índice relevante para áreas de média a alta densidade de vegetação, uma vez que é menos suscetível ao solo e aos efeitos da atmosfera. No entanto, não é adequado para áreas com baixa cobertura vegetal (KARIMI *et al.*, 2018).

Gamarra *et al.* (2016) realizaram um estudo acerca do uso do NDVI na análise da Estrutura da Vegetação e Efetividade da Proteção de Unidade de Conservação e concluíram que as geotecnologias contribuem para os estudos de ecologia e conservação da biodiversidade reduzindo tempo e custos na análise ambiental.

Em seu estudo, Bagherzadeh, Hoseini e Totmaj (2020) confirmaram a utilidade do índice NDVI para expressar a variabilidade da vegetação em condições climáticas semi-áridas, além das relações entre características climáticas e crescimento da vegetação para programas de reabilitação em escala de bacias hidrográficas.



Huang *et al.* (2020) realizaram um estudo sobre a aplicação do NDVI na era do Sensoriamento Remoto, e concluíram que seu uso facilita as aplicações de sensoriamento remoto porque se correlaciona com o status de uma ampla variedade de propriedades da vegetação, simplificando assim o complexo. Os autores ainda declaram que o sensoriamento remoto mudou a maneira como os recursos terrestres são vistos, usados e gerenciados. O mesmo se aplica à forma como o NDVI está envolvido com a saúde da vegetação, padrões e status. Não há dúvida de que o NDVI continuará sendo um índice dominante de vegetação, mas o uso efetivo do NDVI depende da qualidade dos dados multiespectrais e da interpretação dos valores do NDVI.

Os autores supracitados ainda afirmam que O NDVI é o índice mais popular usado para avaliação da vegetação, mas isso não significa que seja universalmente eficaz. Caso o NDVI não possa atender às necessidades de avaliação da vegetação ou a outros fins, pode-se considerar o uso de outros índices de vegetação. Vale ressaltar que todo índice de vegetação tem efeitos atmosféricos e sensoriais e, portanto, também possui alta variabilidade e baixa repetibilidade ou comparabilidade.

Recorrendo a Mallmann, Prado e Pereira Filho (2015), compreende-se em síntese, por ora, o que se notou foi que as técnicas de sensoriamento remoto auxiliam no planejamento e monitoramento da dinâmica florestal, bem como no mapeamento, identificação e quantificação das áreas degradadas, contribuindo para o planejamento e gestão de unidades de conservação, assim como para o desenvolvimento de projetos de restauração ecológica.

Diante do exposto, Ferreira Júnior e Dantas (2018) argumentam que o uso das técnicas de sensoriamento remoto, sistema de informações geográficas e geoprocessamento, associadas às imagens *Landsat*, podem ser usadas com um alto grau de confiabilidade na determinação de índices de vegetação, sobretudo, o NDVI, em que ficou demonstrado neste estudo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

1. Este trabalho teve como objetivo principal realizar a geração de um mapa temático da situação da cobertura vegetal do município de Juazeiro do Norte-CE a partir do (NDVI).

2. A análise tecida no presente estudo exemplificou o uso de ferramentas para o processamento de imagens de satélite, sobretudo, o NDVI, pois mostrou-se bastante eficiente e preciso para a identificação da cobertura vegetal do município de Juazeiro do Norte através do mapa temático gerado, sendo este método eficiente para situações em que se avalia uma grande área.



3. O valor do NDVI para toda a extensão territorial de Juazeiro do Norte foi de 0,60901, indicando que todo o território, tanto a sede municipal como seus Distritos e povoados, se encontram em processo de forte urbanização. Assim, este índice é uma importante ferramenta de monitoramento da expansão urbana do município em determinados períodos, bem como das alterações do espaço geográfico ao longo do tempo.

4. Nesta contribuição científica, ficou evidente o potencial das geotecnologias, uma vez que o NDVI se destaca como uma ferramenta eficiente na caracterização da cobertura vegetativa, preservação e desenvolvimento sustentável da área de estudo. Além disso, o índice de vegetação aplicado nesse estudo tem a vantagem de ser simples e direto, além de produzir resultados de alta precisão, em que é útil para detecção de alterações em qualquer tipo de vegetação.

5. Os resultados deste estudo proporcionam subsídios para diagnósticos ambientais da área estudada por órgãos públicos e privados, servindo para auxiliar na tomada de decisão de políticas públicas que dizem respeito ao meio ambiente, bem como conscientizar a população sobre a necessidade de conservação dos recursos naturais. Portanto, o uso de técnicas de geoprocessamento, como ficou demonstrado nesse estudo, são indispensáveis para um melhor planejamento de atividades ambientais.

6. Como sugestão para futuros trabalhos, os pesquisadores propõem que seja realizada a geração de mapas temáticos em anos mais recentes do município de Juazeiro do Norte, a partir do NDVI. Sugere-se ainda realizar uma análise temporal dos anos anteriores com os anos atuais dos mapas a serem gerados, a fim de identificar e monitorar a detecção de alterações na vegetação para distinguir adequadamente as áreas alteradas das áreas não alteradas. Recomenda-se também monitorar a expansão urbana das atividades que degradam áreas com vegetação. Outra sugestão seria ampliar a geração de mapas temáticos da situação da cobertura vegetal na RMC nas três principais cidades que compõem o triângulo Crajubar, tendo em vista que tais municípios se destacam continuamente pela sua área territorial, além de seu desenvolvimento cultural, educacional, turístico, religioso e industrial.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A. M., SILVA, S. B., SALES, M. C. L. Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para Análise da Degradação Ambiental da Área de Influência Direta do Açude Castanhão. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, v. 21, n. 2,



p. 674–685, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.35701/rcgs.v21n2.602>. Acesso em: 25 jun. 2021.

AIRES, U. R. V. *et al.* The Use of the Normalized Difference Vegetation Index to Analyze the Influence of Vegetation Cover Changes on the Streamflow in the Manhuaçu River Basin, Brazil. **Water Resources Management**, v. 34, p. 1993-1949, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02536-1>. Acesso em: 19 jul. 2021.

ANDRADE, C. B. *et al.* Avaliação de índices de vegetação e características fisiográficas no Sertão Pernambucano. **Revista Brasileira de Meio ambiente**, v. 4, n. 1, p. 097-107, 2018. Disponível em: <https://revistabrasileirademeioambiente.com/index.php/RVBMA/article/view/104>. Acesso em: 25 jun. 2021.

BAGHERZADEH, A., HOSEINI, A. V., TOTMAJ, L. H. The effects of climate change on normalized difference vegetation index (NDVI) in the Northeast of Iran. **Modeling Earth Systems and Environment**, v. 6, p. 671–683, 2020. Disponível em: <https://doi-org.ez152.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s40808-020-00724-x>. Acesso em: 23 jul. 2021.

BUTT, B. Environmental indicators and governance. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 32, p. 84-89, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.05.006>. Acesso em: 26 jul. 2021.

CHU, H. *et al.* NDVI-based vegetation dynamics and its response to climate changes at Amur-Heilongjiang River Basin from 1982 to 2015. **Science of the Total Environment**, v. 650, p. 2051-2062, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.115>. Acesso em: 22 jul. 2021.

COSTA, D. A. *et al.* Planejamento e gestão ambiental na Universidade Federal da Paraíba, Nordeste do Brasil: análise e contribuições. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 4, n. 8, p. 233-254. 2017. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.21438/rbgas.040801>. Acesso em: 22 jul. 2021.

DAGNACHEW, M. *et al.* Effects of Climate Variability on Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in the Gojeb River Catchment, Omo-Gibe Basin, Ethiopia. **Advances in Meteorology**, p. 1-16, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2020/8263246>. Acesso em: 19 jul. 2021.

DETSCH, F. *et al.* Seasonal and long-term vegetation dynamics from 1-km GIMMS-based NDVI time series at Mt. Kilimanjaro, Tanzania. **Remote Sensing of Environment**, v. 178, p. 70-83, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.03.007>. Acesso em: 22 jul. 2021.

EDUVIRGEM, R. V. *et al.* Análise da temperatura aparente de superfície e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em Lisboa, Portugal, no verão de 2017. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 5, n. 10, p. 587-597, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.21438/rbgas.051013>. Acesso em: 22 jul. 2021.

FRANCISCO, C. N. *et al.* Análise do impacto da correção atmosférica no cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada a partir de Imagem Landsat 8/OLI. **Revista Brasileira**



de **Geografia Física**, v. 13, n. 1, p. 76-86. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.1.p076-086>. Acesso em: 22 jul. 2021.

FATHIZAD, H. *et al.* The investigation of spatiotemporal variations of land surface temperature based on land use changes using NDVI in southwest of Iran. **Journal of African Earth Sciences**, v. 134, p. 249-256. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.06.007>. Acesso em: 23 jul. 2021.

FERREIRA JÚNIOR, J. J., DANTAS, M. J. F. Análise do albedo da superfície e de índices de vegetação por sensoriamento remoto na bacia hidrográfica do Rio Pacoti/CE. **Revista Tecnologia**, v. 39, n. 2, p. 1-18, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5020/23180730.2018.8132>. Acesso em: 23 jul. 2021.

FLORES, D. D. C. *et al.* Variaciones espaciales y temporales en el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada en Cuba. **Revista Ecosistemas**, v. 29, n. 1, p. 1-12, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.7818/ECOS.1885>. Acesso em: 25 jul. 2021.

GAMARRA, R. M. *et al.* Uso do NDVI na Análise da Estrutura da Vegetação e Efetividade da Proteção de Unidade de Conservação no Cerrado. **Revista RAEGA – O Espaço Geográfico em Análise**, v. 37, p. 307-332, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v37i0.42454>. Acesso em: 26 jul. 2021.

HUANG, S. *et al.* A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. **Journal of Forestry Research**, v. 32, p. 1-6, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01155-1>. Acesso em: 25 jul. 2021.

HU, M., XIA, B. A significant increase in the normalized difference vegetation index during the rapid economic development in the Pearl River Delta of China. **Land Degradation & Development**, v. 30, p. 359-370, 2019. Disponível em: <https://doi.org.ez152.periodicos.capes.gov.br/10.1002/ldr.3221>. Acesso em: 27 jul. 2021.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Cidades e estados**. 2019. Disponível em: <https://ibge.gov.br/>. Acesso em: 25 jun. 2021.

JANSSEN, T. A. J. *et al.* Extending the baseline of tropical dry forest loss in Ghana (1984-2015) reveals drivers of major deforestation inside a protected area. **Biological Conservation**, v. 218, p. 163-172, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.12.004>. Acesso em: 20 jul. 2021.

KARIMI, A. *et al.* The Use of Remote Sensing Techniques in Detecting and Predicting Forest Vegetation Change Using MODIS Satellite Data, Golestan, Iran. **American Journal of Engineering and Applied Sciences**, v. 11, n. 1, p. 387-396, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3844/ajeassp.2018.387.396>. Acesso em: 23 jul. 2021.

KALISA, W. *et al.* Assessment of climate impact on vegetation dynamics over East Africa from 1982 to 2015. **Scientific Reports**, v. 9, p. 1-20, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53150-0>. Acesso em: 21 jul. 2021.

KE, Y. *et al.* Characteristics of Landsat 8 OLI-derived NDVI by comparison with multiple satellite sensors and in-situ observations. **Remote Sensing of Environment**, v. 164, p. 298-

313, 2015. Disponível em: <https://doi-org.ez152.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.rse.2015.04.004>. Acesso em: 22 jul. 2021.

LEITE, A. P., SANTOS, G. R., SANTOS, J. É. O. Análise Temporal dos Índices de Vegetação NDVI E SAVI na Estação Experimental de Itatinga Utilizando Imagens Landsat 8. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 6, n. 4, p. 606-623, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/rber.v6i4.45830>. Acesso em: 26 jun. 2021.

LORANTY, M. M. *et al.* Vegetation Indices Do Not Capture Forest Cover Variation in Upland Siberian Larch Forests. **Remote Sensing**, v. 10, n. 11, p. 1-15, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs10111686>. Acesso em: 26 jul. 2021.

MARQUES, H. O. *et al.* Estimated net radiation in na Amazon–Cerrado transition forest by Landsat 5 TM. **Journal of Applied Remote Sensing**, v. 11, n. 4, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1117/1.JRS.11.046020>. Acesso em: 26 jul. 2021.

MALLMANN, C. L., PRADO, D. A., PEREIRA FILHO, W. Índice de vegetação por diferença normalizada para caracterização da dinâmica florestal no parque estadual Quarta Colônia, estado do Rio Grande do Sul – Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 5, p. 1454-1469, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20150080>. Acesso em: 26 jul. 2021.

MARKOGIANNI, V., DIMITRIOU, E. Landuse and NDVI change analysis of Sperchios river basin (Greece) with different spatial resolution sensor data by Landsat/MSS/TM and OLI. **Desalination and Water Treatment**, v. 57, p. 1-12, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/19443994.2016.1188734>. Acesso em: 26 jul. 2021.

OCHTYRA, A., MARCINKOWSKA-OCHTYRA, A., RACZKO, E. Threshold-and trend-based vegetation change monitoring algorithm based on the inter-annual multi-temporal normalized difference moisture index series: A case study of the Tatra Mountains. **Remote Sensing of Environment**, v. 249, p. 1-19, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112026>. Acesso em: 26 jul. 2021.

PADOLFI, A. S., RAMALDES, G. P., SANTOS, O. L. Análise de Índice de Vegetação Através de Imagens Obtidas por Vant. **Revista Científica da FAESA**, v. 14, n. 1, p. 145-165, 2018. Disponível em: <http://revista.faesa.br/revista/index.php/Faesa/article/view/267>. Acesso em: 26 jul. 2021.

ROKNI, K., MUSA, T. A. Normalized difference vegetation change index: A technique for detecting vegetation changes using Landsat imagery. **Catena**, v. 178, p. 59-63, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.03.007>. Acesso em: 26 jul. 2021.

SANTOS, F. A. C. *et al.* Desempenho de Metodologias para estimativa do Saldo de Radiação a Partir de imagens Modis. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 3, p. 295-306, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-778620130085>. Acesso em: 26 jul. 2021.

SOUZA, M. C. C., AMORIM, M. C. C. T. Qualidade Ambiental em Áreas Verdes Públicas na Periferia de Presidente Prudente (SP): Os Exemplos dos Bairros Humberto Salvador e Morada do Sol. **Caminhos da Geografia**, v. 17, n. 57, p. 59-73, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/RCG175704>. Acesso em: 30 jun. 2021.



SILVA, V. S. *et al.* Methodological evaluation of vegetation indexes in land use and land cover (LULC) classification. **Geology, Ecology, and Landscapes**, v. 4, n. 2, p. 159-169, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/24749508.2019.1608409>. Acesso em: 19 jul. 2021.

TAKATORI, M. M. O. *et al.* Uso de Geotecnologias na análise da estrutura e dinâmica da Paisagem na região do Nabiquele. **Revista UNG – Geociências**, v. 16, n. 1, p. 87-101, 2017. Disponível em: <http://revistas.ung.br/index.php/geociencias/article/view/2953/2152>. Acesso em: 19 jul. 2021.

WANG, F. *et al.* Spatial and Temporal changes in the Normalized Difference Vegetation Index and its Response to Climate Change in Shaanxi Province, China. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 508, p. 2-7 2020. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/508/1/012121/meta>. Acesso em: 26 jul. 2021.

XUE, J., SU, B. Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications. **Journal of Sensors**, v. 2017, p. 1-17, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2017/1353691>. Acesso em: 19 jul. 2021.

ZEWDIE, W., CSAPLOVICS, E., INOSTROZA, L. Monitoring ecosystem dynamics in northwestern Ethiopia using NDVI and climate variables to assess long term trends in dryland vegetation variability. **Applied Geography**, v. 79, p. 167-178, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.12.019>. Acesso em: 22 jul. 2021.



CAPÍTULO 10

COMPARATIVO DE LEVANTAMENTO DE QUANTITATIVOS DE MATERIAIS EM RESIDÊNCIA DE BAIXO PADRÃO NA CIDADE DE MANAUS UTILIZANDO MÉTODO CONVENCIONAL X BIM

DOI: 10.47402/ed.ep.c202292010974

Marcus Vinícius Reis de Oliveira de Sicco
Ellis Ângela Barbosa de Araújo Simões

RESUMO

O cenário da construção civil tem abordado cada vez mais um mercado mais competitivo e exigente, devido às novas tendências tecnológicas exigindo maior preparo das empresas e dos profissionais. Dito isso, uma execução precisa na orçamentação de projetos impacta diretamente no sucesso da empresa conforme ela é composta por diversas etapas, como é o caso do levantamento de quantitativos, onde é calculado os materiais necessários para a execução das etapas de serviço da obra. A orçamentação é feita através dos dados fornecidos pelos projetos, comumente calculados de forma manual pelo profissional e com auxílio do software AutoCad e planilhas eletrônicas. Além de ser um processo que demanda de tempo e habilidade para obter as informações desejadas cujo erro pode custar no valor final do custo do projeto. No entanto, o mercado conta com a tecnologia BIM, que possui uma ferramenta para elaboração de projetos, com sua modelagem tridimensional e armazenamento de dados de materiais presentes na construção civil aplicados no projeto. Neste contexto, foi realizado uma comparação de levantamento de quantitativos entre o método convencional auxiliado e o BIM auxiliado pelo software Revit, utilizando como objeto de estudo um projeto arquitetônico residencial de baixo padrão, com área construída de 110,3 m², composta de um único pavimento. De acordo com as análises, o método BIM demonstrou possuir maior precisão e rapidez em gerar os resultados em relação ao método convencional, cujo este mesmo que possua um profissional hábil para o manuseio, tende a apresentar falha na precisão dos dados.

PALAVRAS-CHAVE: Orçamentação, BIM, Levantamento de quantitativos

INTRODUÇÃO

A orçamentação no mercado da construção civil é uma etapa imprescindível em qualquer empreendimento a ser executado, pois sua função é calcular o custo total estimado a ser investido na obra, com valores mais próximos a realidade. Uma das etapas da orçamentação é o levantamento de quantitativos, onde é extraído as informações sobre os dados dos valores de materiais constituintes para serem agregados às etapas dos serviços. Segundo Santos (2014), este processo é comumente realizado de forma manual, com auxílio de projetos impressos ou de forma eletrônica elaborados no AutoCad, onde necessita de extrema atenção e habilidade de quem o executa, pois é passível de falha humana que pode ocasionar uma série de erros nas próximas etapas dos serviços, além de causar perda de produtividade e demanda de tempo,



devido aos atrasos e retrabalhos que impactam no resultado final. No entanto, otimizar esse processo é um dever importante, aliando a orçamentação com as novas tecnologias que se integram à construção para evitar erros que possam causar interferências negativas e garantir que resulte em resultado lucrativo na obra.

Uma dessas tecnologias em questão é o BIM (*Building Information Modeling*), especificamente com a utilização do software Revit, onde nele é possível modelar o projeto virtualmente, analisando todos os pontos construídos, além de perceber a forma real da edificação, utilizando as ferramentas no software para elaboração do projeto, respeitando sua forma e composição de material, seja em revestimento, pintura e outras composições afim de agregar um conjunto de informações no decorrer do processo construtivo.

Como a tecnologia BIM vem ganhando uma notoriedade e de acordo com Natividade (2016), houve uma necessidade de explorar, mesmo de forma gradual e lentamente, novas formas de agregar na construção civil a implantação da tecnologia BIM para o processo de levantamento de quantitativos, visto que toda praticidade e otimização em elaborar uma prestação de serviço é um ideal que todo profissional almeja. Logo, é notável a abordagem sobre tal análise para a verificação das diferenças entre a metodologia BIM em relação à convencional para levantamento de quantitativos.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A definição básica de orçamento pode ser mencionada como determinar os valores a serem investidos quando se pretende realizar um projeto conforme o planejamento e execução elaborados após um levantamento de informações de quantitativos (LIMMER, 1997). No entanto, o termo designado ao processo de elaboração do orçamento é orçamentação, considerado de suma importância para o profissional destacar-se no mercado, pois esse acerto do custo da obra é o que decidirá em um resultado positivo e lucrativo. Segundo Mattos (2019), o orçamento mal elaborado gera prejuízos em relação a tempo e custo.

Para orçamentar com eficiência, deve-se saber quais os serviços que irão ser executados e correlaciona-los durante as etapas da obra, para assim analisar os projetos e definir os itens a serem quantificados e orçados, itens com dimensões variáveis seja linear (tubulação, fiação) áreas ou superficiais (paredes, pisos, telhado) ou volumétricos (concreto, aterro, entulho, escavação) e também itens que não podem ser dimensionados, cotados por unidade (peças, por exemplo). Deve ser considerado também, as possíveis perdas decorrentes nas obras, devido ao transporte inadequado, mal armazenamento e estocagem de materiais, roubos e manuseios



incorretos. Por isso, é necessário sempre cogitar uma margem para evitar esses empecilhos. Antes de iniciar o projeto, é levado em consideração o nível de precisão necessário para detalhar o orçamento, onde podemos citar:

• **Estimativa de custo:** É um procedimento pouco exato, serve apenas para dar orientações a respeito da grandeza a ser investida no projeto. Com isso, fica evidente a relevância dos custos e se necessário, fazer alterações que possam deixar o valor final mais conveniente com o projeto. (MATTOS, 2019)

Na estimativa de custos, segundo (MATTOS, 2019) essas variáveis são determinadas de forma parametrizada, ou seja, um valor padrão que o preço varia conforme:

a) Dimensão: Ou seja, uma habitação com determinada característica é orçada por m^2 , gerando um valor estimado em banco de dados (Custo unitário PINI de edificações, ou CUB-Custo Unitário Básico da Construção Civil, por exemplo).

b) Fator de produção: É um item semelhante ao citado anteriormente, porém esse foca na utilidade da edificação, onde o valor difere dependendo do que se deseja que a edificação atenda, exemplo: quantos quartos um hotel deve ter (valor aumenta conforme o número exigido de quartos), quantos leitos um hospital deve ter (o valor de leitos aumenta o custo do hospital) e entre outros.

c) Fator de capacidade: Consiste em relacionar vários projetos similares e determinar um novo custo conforme o tamanho da edificação (capacidade) e o custo que a edificação semelhante possui.

• **Orçamento preliminar:** Possui maior precisão que a estimativa acima, pois ela conta com a ajuda de indicadores, que são medidas padrão para levantamento de quantidade quando não se possui acesso a projetos específicos, sendo necessária a adoção de valores padrões. (MATTOS, 2019).

O orçamento preliminar é uma versão mais aprimorada da estimativa de custos, porém ele utiliza alguns dos levantamentos de quantitativos como peso da armadura (volume de concreto x consumo de aço), volume de concreto (área construída x valor da espessura média da camada de concreto, área de forma (volume de concreto x taxa de forma). Este orçamento além de ser mais preciso que a estimativa de custos, pode determinar um valor possível para o investidor interessado, porém necessita de certas informações básicas de pré-



projeto, anteprojeto e especificações de informações contidas neles como por exemplo espessura da camada de concreto.

• **Orçamento analítico:** Este possui maior exatidão em relação aos anteriores, devido ao acesso ao maior número de dados levantados, orçados com base no valor monetário mais próximo do mercado, resultando num valor aproximado mais realístico possível do projeto. (MATTOS, 2019).

Neste orçamento, todos os valores (custo direto e indireto, mão de obra, insumos, aluguel de maquinário, lucro da empresa e entre outros) são quantificados através de pesquisa pelo preço dos insumos e baseados em tabelas de referência, como a SINAPI.

Conforme o grau de detalhamento do projeto aumenta, as informações adquirem maior qualidade e o contrário é válido. E segundo Limmer (1997), para a orçamentação, esses outros métodos também são aplicados:

• **Método da correlação:** O custo é determinado de acordo com a dimensão existente, ou seja, quanto maior a dimensão, maior o custo e vice-versa, chamado de correlação simples. Além disso, há também a chamada correlação múltipla, onde o custo total é resultante da somatória das diversas partes componentes do projeto e suas correlações simples.

• **Método da quantificação:** Esse método reúne a quantidade total de composição unitária dos insumos e seus custos por valor unitário. Logo gera um montante de itens básicos para execução de uma obra. Esses valores unitários são provenientes de coeficientes técnicos de banco de dados especializados ou adotados por determinada empresa.

A respeito do BIM, onde o nome vem do inglês *Building Information Modeling* que é traduzido como Modelagem da Informação da Construção. Consiste em uma tecnologia que permite ao usuário projetar virtualmente, com dados geométricos e exatos que servem de suporte à construção (EASTMAN, et al., 2014). Proporciona certo nível de dados bem detalhados que integram diversos trabalhos, informações e documentos reunidos acoplados em um único arquivo ou compatibilizado com outros do mesmo sistema, associando produção, comunicação e gestão em uma chamada “obra virtual”.

Utilizando o conceito BIM, o Revit, cujo nome “vem das palavras *Revise Instantly*, que significam *Revise Instantaneamente*” (NETTO, 2014, p.20). É um software no qual o profissional possui a capacidade de modelar o projeto em 3D, utilizando no sistema estrutural os elementos paramétricos, no qual o usuário pode estabelecer valores ou formas já definidas



para a inserção de objetos classificados como famílias ou classes de modelos. E nele, é possível visualizar previamente a estrutura da edificação e informar suas características para possíveis alterações desejadas (COSTA, 2019).

Conforme os dados de medições (perímetro, área, volume) são reunidos pelos parâmetros construtivos de um projeto preliminar, no BIM é possível visualizar uma extração de quantitativos, devido aos elementos paramétricos presentes no Revit. O usuário adquire maiores dados de insumos conforme insere de detalhes no projeto, podendo organizá-los em tabelas, processo este chamado de estimativa paramétrica (EASTMAN et al. 2014).

O BIM deve ser considerado para diminuir a carga trabalhosa de orçamentação para que possam rapidamente avaliar a situação e condição dos custos e do grau de incerteza na quantidade de materiais (EASTMAN, et al, 2014). Sendo assim, o projeto agrega uma gama de informações a todos aqueles que obterem acesso aos seus dados, sejam projetistas, orçamentistas e compradores. (RODRIGUES, 2019).

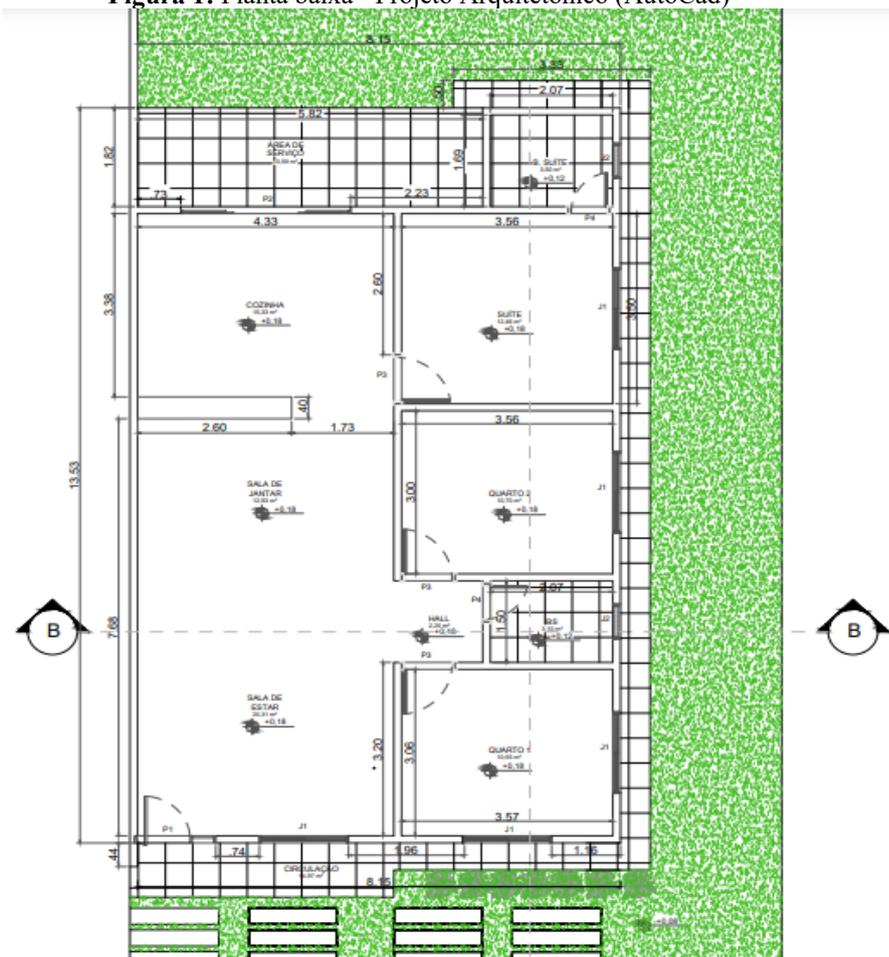
METODOLOGIA

Definida as informações teóricas, esta etapa consiste em apresentar a forma de como prosseguir para o desenvolvimento do projeto para a obtenção dos resultados. Primeiramente, será escolhido o projeto arquitetônico residencial de baixo padrão, para extração dos dados quantitativos dos materiais.

O estudo inicia-se na utilização do software AutoCad reproduzindo através do projeto arquitetônico, a planta baixa, cortes, fachadas e vistas, a fim de extrair os quantitativos dos materiais com base nos dados gráficos do softwares, utilizando métodos manuais de cálculo. Contudo, neste projeto serão levados em consideração os itens fornecidos para o estudo, não generalizando para todos os projetos, devido à particularidade de cada um, mas fornecendo uma pesquisa que possa apontar aspectos a respeito de todos os métodos estudados, visando à preferência entre ambos, sempre se atendo ao procedimento para futuras análises acerca de todas as observações registradas.

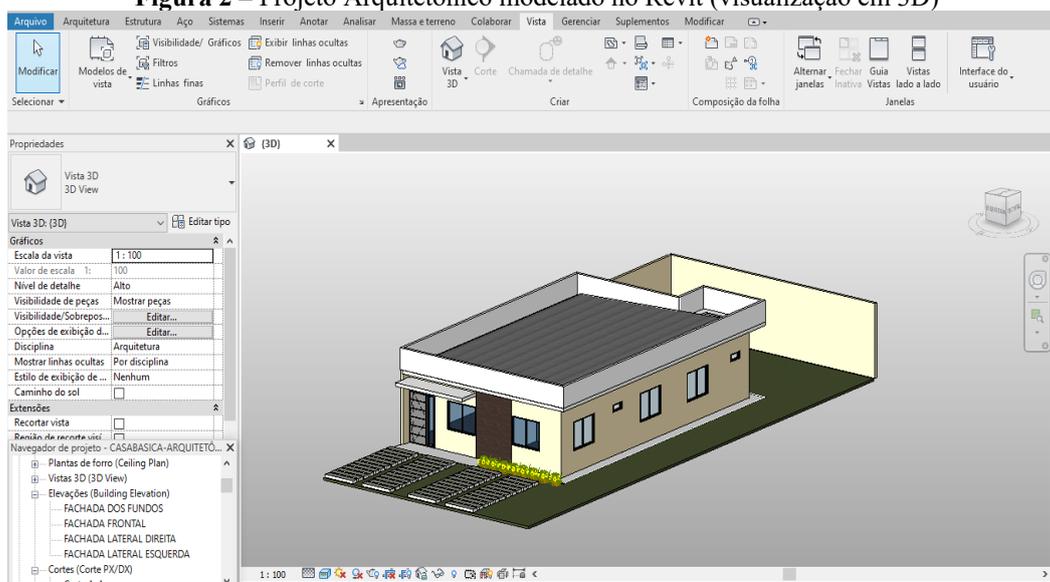
Seguindo o mesmo procedimento, utilizando a metodologia BIM com o software Autodesk Revit , a mesma edificação será modelada, com base na estrutura tridimensional e aproveitando os recursos fornecidos pelo software, a fim de se obter os dados dos levantamentos de quantitativos.

Figura 1: Planta baixa - Projeto Arquitetônico (AutoCad)



Fonte: Autor

Figura 2 – Projeto Arquitetônico modelado no Revit (visualização em 3D)



Fonte: Autor

Após a realização dos projetos pelos dois softwares foi feita a seleção dos itens para base comparativa dos dados, no entanto foi escolhido os itens discriminados a seguir devido ao fato de que eles são possíveis de serem extraídos apenas pela leitura de dados do projeto.

Tabela 1 – Itens selecionados para comparação dos dados

ITEM	Descrição
1	Alvenaria de tijolo 8 furos (e = 9cm)
2	Chapisco com Reboco
3	Selador
4	Massa Corrida Pva (interno)
5	Massa Corrida Acrílica (externo)
6	Pintura Acrílica (externo)
7	Pintura látex (interno)
8	Revestimento Cerâmico branco com argamassa colante (46 x 46)
9	Forro de gesso
10	Piso Vinílico
11	Grama
12	Contrapiso
13	Cobertura em telha fibrocimento

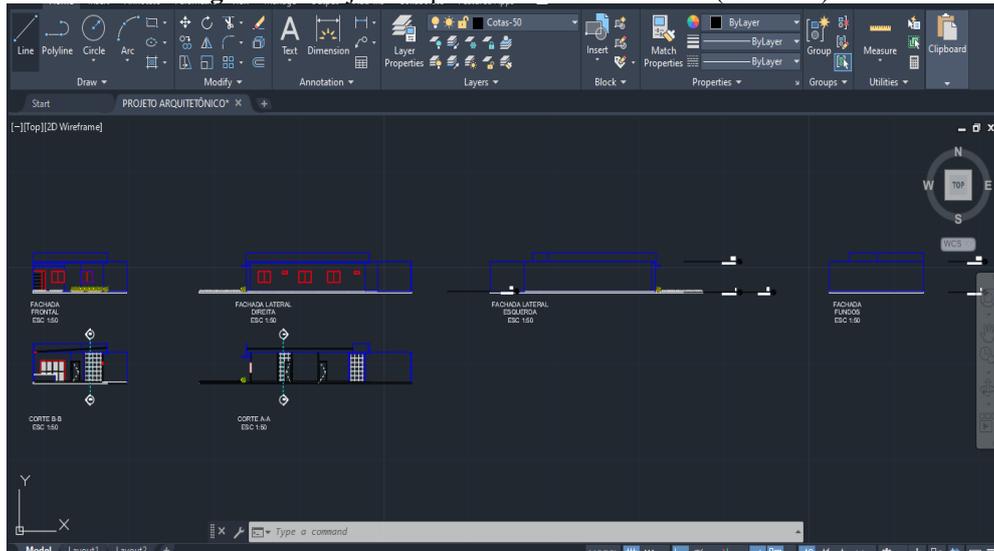
Fonte: Autor

Levantamento e análise dos dados

Método convencional pelo autocad

Primeiramente pelo método do AutoCad, os dados foram analisados através da medição e contagem dos elementos, áreas, perímetros e alturas constituintes da planta baixa, cortes e vistas e calculados manualmente os respectivos valores dos itens mencionados na tabela, utilizando os recursos que o software tem a oferecer e juntamente com acompanhamento de uma planilha eletrônica em Excel para salvar os dados obtidos.

Figura 3 – Projeto Arquitetônico: vistas e cortes (AutoCad)

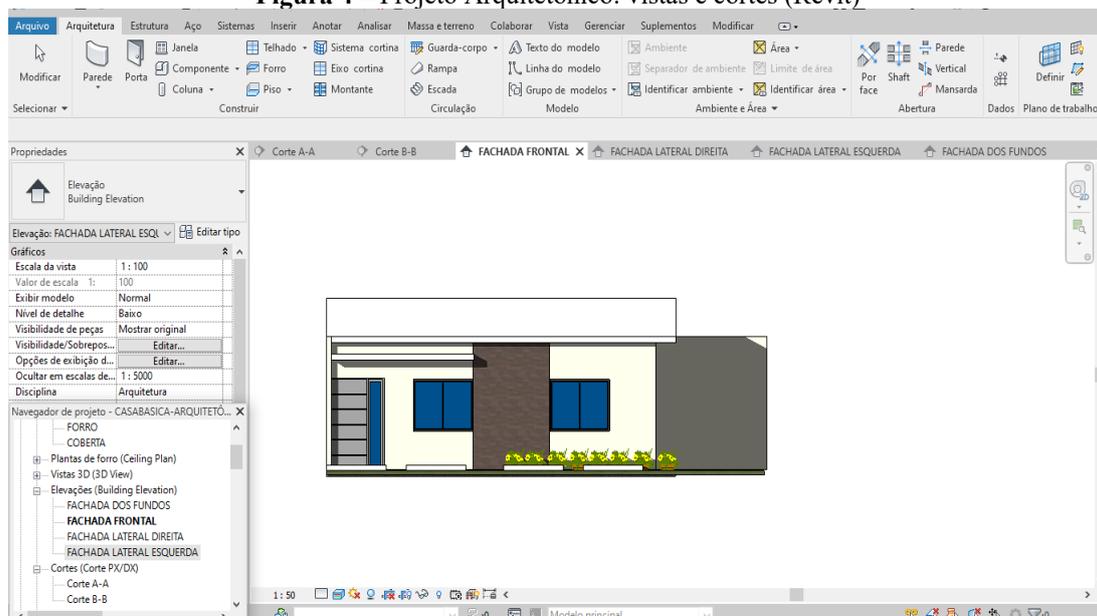


Fonte: Autor

Método BIM utilizando Revit

Com a utilização do Revit, foi possível modelar o projeto utilizando componentes com propriedades definidas pelo usuário, onde ele pode editar as propriedades do elemento de acordo com os materiais a qual deseja construir, incluindo acompanhar a edificação com a vista em 3D para ter um vislumbre melhor da característica do projeto. Os materiais inseridos são automaticamente cotados pelo banco de dados do software, criando uma mensura de informações que foram úteis para a comparação dos dois métodos.

Figura 4 – Projeto Arquitetônico: vistas e cortes (Revit)



Fonte: Autor

Tabela 2 – Comparação entre os valores encontrados método convencional x BIM

ITEM	Descrição	UND	Método Convencional	(BIM) Revit	% Diferença entre o Método Convencional para o BIM
1	Alvenaria de tijolo 8 furos (e = 9cm)	m ²	278,26	282,53	1,53%
2	Chapisco com Reboco	m ²	566,6	564,88	-0,30%
3	Selador	m ²	434,79	427,58	-1,66%
4	Massa Corrida Pva (interno)	m ²	295,34	290,88	-1,51%
5	Massa Corrida Acrílica (externo)	m ²	228,52	225,73	-1,22%
6	Pintura Acrílica bege (externo)	m ²	228,52	225,73	-1,22%
7	Pintura látex branca (interno)	m ²	432,17	449,61	4,04%
8	Revestimento Cerâmico branco com argamassa colante (46 x 46)	m ²	74,71	74,58	-0,17%
9	Forro de gesso	m ²	89,05	89,01	-0,04%
10	Piso Vinílico	m ²	84,91	84,89	-0,02%
11	Gramma	m ²	145,78	145,78	0,00%
12	Contrapiso	m ³	4,64	4,56	-1,72%
13	Cobertura em telha fibrocimento	m ²	103,81	103,76	-0,05%

Fonte: Autor

Conforme apresentado na tabela, é possível analisar a diferença em percentual dos valores finais obtidos através dos dois métodos. Com o método BIM, foi possível obter menores valores em relação ao método convencional devido à sua precisão em gerar os quantitativos. Nos itens 1 e 7, o método CAD obteve menor valor, isso porque o Revit utiliza sua precisão em toda área de influência do componente e como não houve seções de pilares e vigas estruturais no arquitetônico, não houve abatimento dos valores das seções, causando esse aumento no Revit, o que influenciou no item 7. Em relação aos demais valores dos itens, se deve ao fato de que os cálculos manuais geram imprecisões maiores, além de possíveis arredondamentos de valores pelos cálculos, o que é contrário ao Revit que considera a exatidão nos números.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a análise dos resultados, a evidente diferença apontou favorável ao método BIM, com sua precisão e rapidez em gerar os quantitativos resulta em um ponto para produtividade, assim como possui sua função de atualizar os dados dos quantitativos conforme o projeto é



alterado, diferente do método manual que é feito um retrabalho para alteração de projeto. No entanto, o método BIM assim como o método convencional exige prática, aperfeiçoamento e habilidade para ganhar pontos com produtividade e precisão e conforme possui precisão, quanto mais dados fornecer no projeto, ele resultará em valores ainda mais precisos e detalhados.

O método convencional auxiliado pelo AutoCad, embora seja comumente utilizado, possuir perícia e conhecimento garante que os erros humanos sejam pouco reduzidos, mas a desvantagem está na produtividade e tempo de execução de serviço, fatores que são favoráveis demonstrado no uso do software Revit.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme os resultados avaliados, o método BIM demonstra satisfatoriamente uma função precisa e favorável à orçamentação, tecnologia com recursos essenciais quando se pretende alcançar uma otimização e economia de tempo. No entanto, projetar com o BIM requer um pouco mais de atenção devido às configurações de componentes de materiais necessários ao empreendimento a ser construído, sendo mais lento que no AutoCad, mas gera uma economia maior para obter os dados de orçamentação.

O método de levantamento convencional manual é realizado em formato 2D, embora tenha resultado em variações não muito diferentes, porém em uma situação com edificações maiores e mais detalhadas, esses valores tendem a variar cada vez mais. Assim como no Revit, é necessário possuir clareza e objetividade para definir os materiais e elaborar o projeto para que não haja atualizações constantes e mudanças de materiais e valores

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COSTA, Amanda.; OLIVEIRA, Danielle M.; RIBEIRO, Sidnea E. C.; BAMBERG, Paula. **Avaliação dos impactos da tecnologia BIM no levantamento de quantitativos e contraste à metodologia tradicional.** Universidade Fumec, Minas Gerais. Revista Construindo, v.11 n.1 JAN/JUN 2019. Artigo Disponível em <<http://revista.fumec.br/index.php/construindo/article/view/6916>>. Acesso em Agosto de 2021.

EASTMAN, Chuck; TEICHOLZ, Paul.; SACKS, Rafael; LINSTON, Kathleen. **Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores.** Porto Alegre: Bookman, 2014.

LIMMER, Carl V. **Planejamento, orçamentação e controle de projetos e obras.** 1 ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996.



MATTOS, Aldo D. **Como preparar orçamento de obras**. 3 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

NATIVIDADE, Leonardo R. **Comparativo custo de obra: Método convencional e BIM**. Monografia – Departamento de Engenharia Civil, UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul) – Porto Alegre, 2016. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/148688>>. Acesso em Fevereiro de 2021.

NETTO, Claudia C. **Autodesk Revit Architecture 2014: conceitos e aplicações**. 1ed. São Paulo: Érica, 2014.

RODRIGUES, Rafael G. (2019). **Extração de quantitativos utilizando a ferramenta BIM**. Monografia. Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal de Uberlândia. Minas Gerais. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/26100>>. Acesso em Setembro de 2021

SANTOS, Adriana de P.; ANTUNES Cristiano E.; BALBINOT Guilherme B. **Levantamento de quantitativos de obras: Comparação entre o método tradicional e experimentos em tecnologia BIM**. Iberoamerican Journal of Industrial Engineering, Florianópolis, SC- Brasil. v.6, n.12, p.134-155, 2014. Disponível em: <http://incubadora.periodicos.ufsc.br/index.php/IJIE/article/view/2525/pdf_64>. Acesso em Agosto de 2021.



CAPÍTULO 11

ANÁLISE VISUAL E MANIFESTAÇÕES DE PATOLOGIA NO COMPLEXO VIÁRIO ENG. LUIZ AUGUSTO VEIGAS SOARES

DOI: 10.47402/ed.ep.c202292111974

Wellington Charles Costa Sousa
Ellis Ângela B. de A. Simões

RESUMO

O complexo viário Eng. Luís Augusto Veigas Soares, construído em outubro de 2010, é uma obra viária mais importante já construída no Bairro São José Operário, zona leste da cidade de Manaus, com objetivo de descongestionar os cruzamento das Avenidas Cosme Ferreira e Avenida Autaz Mirrim (através da rotatória do São Jose) já se encontravam saturados e com a sua capacidade de escoamento de veículos no limite do suportável. Desde a sua inauguração a estrutura vem sofrendo com a falta de manutenção, tanto preventiva quanto corretiva, no entanto apresenta inúmeras patologias que podem vir a comprometer o seu desempenho e a sua funcionalidade futuramente. O presente artigo baseou-se na análise visual, fundamentada pesquisa bibliográfica e em registros fotográficos, realizada no complexo viário Eng. Luís Augusto Veigas Soares, cujo o estudo desse artigo é identificar e conceituar as manifestações patológicas presentes no local, onde destaca-se as seguintes: corrosão, desnível na pista de rolamento, trechos com a pavimentação comprometida, junta de dilatação deterioradas e também analisar os possíveis riscos que a estrutura está submetida.

PALAVRA-CHAVE: Complexo viário, manutenção, manifestações patológicas.

INTRUDUÇÃO

Os complexos viários são obras-de-arte especiais que estão sujeitas a ação de diversas patologias da construção, em sua atividade continua e pela falta de manutenção preventiva, em grande parte dos casos. Essas obras de artes organizam parte essencial de muitos sistemas viários em todo o mundo, no entanto, apresentam problemas de ordem estrutural que necessitam de solução emergencial.

Ao levantar os estudos das patologias no complexo viário Eng. Luís Augusto Veigas Soares, foi identificado fissuras em sua estrutura o qual a olho nu não está sofrendo danos a estrutura. As fissuras são oriundas normalmente por tensões geradas por cargas ou pela movimentação de matérias ou componentes estruturais. (Valle,2008).

O presente artigo está a contribuir na realização de inspeção que visa colaborar com órgãos públicos responsável pela manutenção do complexo viário Eng. Luís Augusto Veigas Soares através da indicação das patologias presentes na estrutura, especialmente no: desnível na pista de rolamento, trechos com a pavimentação comprometida, juntas de dilatação



deterioradas e também analisar os possíveis riscos que a estrutura está submetida, tubulações de águas expostas e com vazamento em sua parte inferior e aparição de bolor (mofo) em pilares.

Considerando a necessidade socioeconômico as ações mais adequadas para minimizar os danos humanos e aproveitar ao máximo as virtudes do empreendimento, fica evidente que essa construção não pode deixar de cumprir o seu desempenho estrutural para assegurar a funcionalidade e segurança dos usuários. Portanto deve ser averiguado a sua funcionalidade através de inspeção e acompanhamento para se necessário a manutenção preventiva da mesma.

Com o passar dos anos os viadutos se desgastam naturalmente, ocasionando o aparecimento de patologias específicas, se não forem evitadas ou tratadas adequadamente, podem evoluir até ocasionar risco aos usuários do sistema (Laner (2001)(2) e Vitório (2005)(3)). Dentre estas patologias, as mais comuns são: aparecimento de trincas, rachaduras e fissuras, que podem ser ocasionadas por: corrosão da armadura, variação térmica, deformação excessiva da estrutura, recalques diferenciais, retração hidráulica, falhas na concretagem, recobrimento das armaduras, entre outros.

O levantamento de dados é uma etapa indispensável de um processo de inspeção em qualquer estrutura. No entanto, a análise destes parâmetros deve ser uma prioridade nas pesquisas em Engenharia Estrutural, de modo a contribuir para a concretização e para a aplicabilidade dos mesmos. Logo que o complexo viário Eng. Luís Augusto Veigas Soares estar sendo de suma importância aquela localização colaborando com a fluidez no trânsito.

- Manutenção periódica; atividade em que cada equipamento pára, após um período de funcionamento, para que sejam feitas medições, ajustes e, se necessário, troca de peças.

- Manutenção preventiva; visa garantir ou reestabelecer as condições de desempenho para qual determinada estrutura foi concebida. Um plano de manutenção adequado, além de acompanhar evolução de normas, técnicas e materiais, prorroga a vida útil destas estruturas, diminuído assim os custos com recuperação.

Segundo Vitório (2006), hoje, no Brasil, a falta de programas voltados à manutenção de *pontes e viadutos* é um dos maiores problemas enfrentados pelo sistema rodoviário. Um dos fatores que contribui para isso, é a ausência de políticas e estratégias voltadas para a conservação dessas obras, que, por sua vez, estão sendo sobrecarregadas pelo grande fluxo de veículos pesados e com sobrepeso.



Segundo Vítório (2006), ao realizar manutenções periódicas e adequadas que fazem parte de um processo de gestão mais amplo, admite a garantia de maior vida útil e de satisfatórios desempenhos estrutural e funcional, identificando, através de vistorias periódicas, as avarias existentes, diagnosticando-as e indicando as ações de recuperação.

Segundo a visita e análise da estrutura constatou-se que por anos ela vem sofrendo pela ação de vândalos e de patologias de cunho estrutural.

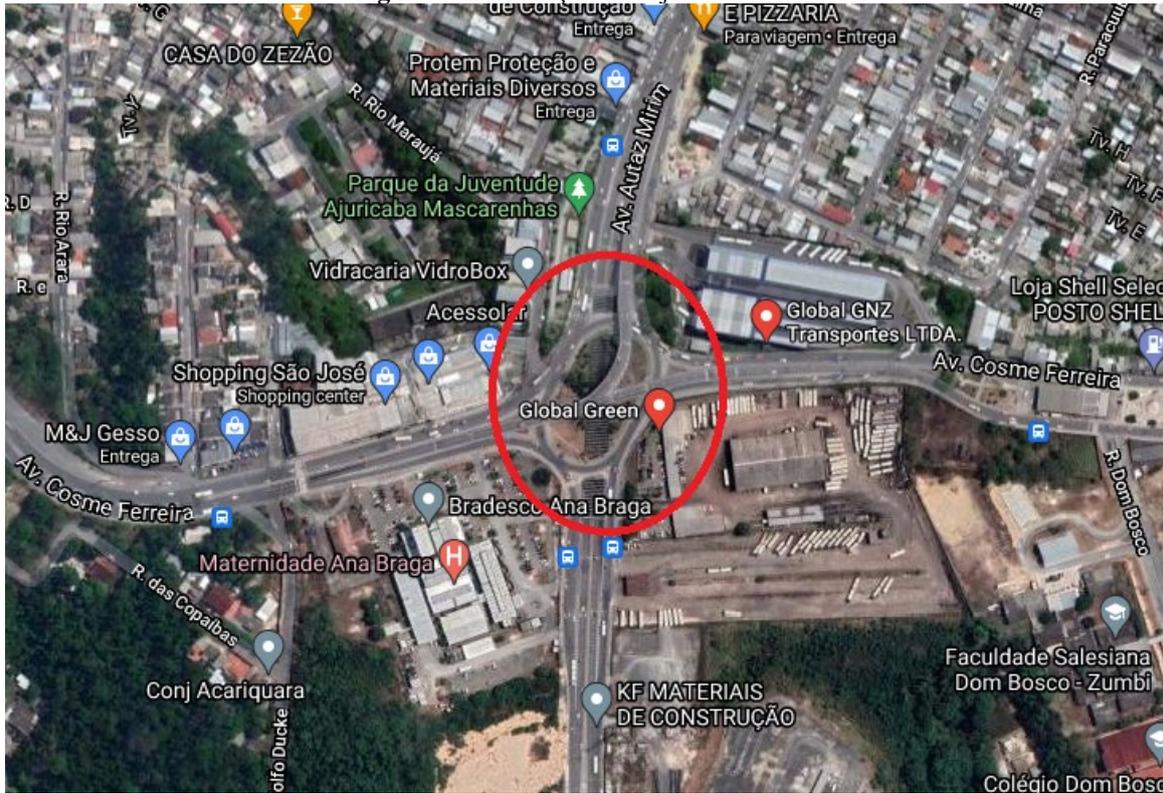
OBJETIVO

Cujo o estudo desse artigo é identificar e conceituar as manifestações patológicas presentes no local, onde destaca-se as seguintes: desnível na pista de rolamento, trechos com a pavimentação comprometida, junta de dilatação deterioradas, também analisar os possíveis riscos que a estrutura está submetida e bolor na estrutura.

LOCALIZAÇÃO DO COMPLEXO VIÁRIA ENG. LUÍS AUGUSTO VEIGAS SOARES

Está localizado na região norte do Brasil, estado do Amazonas, mais precisamente na zona leste de Manaus, sendo maior em extensão territorial do país. Antes da construção do complexo viário Eng. Luís Augusto Veigas Soares (Figura 1) aquela região tinha seu fluxo congestionado, devido sua grande utilização pelos veículos, dificultando a livre circulação

Figura 1: Localização do objeto em estudo.



PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia usada no levantamento do artigo consiste nas análise visual e estudo de conceitos e registro fotográficos trabalhando por etapas: ação realizada ao longo de toda a zona transitável do modal rodoviário da estrutura em estudo, para o levantamento e entendimento de seu estado de conservação, análise das pistas rolantes. A inspeção visual se fundamentou em visita “in loco”, em exames a olho nu da parte superior do complexo viário e definiram-se os aspectos a serem levados em consideração, tais como: pista de rolamento, juntas de dilatação, sistema de drenagem, barreira de proteção, passeio, manchas na superfície do concreto, deterioração das placas de concreto cimentícia, vandalismo e recalques.

REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo Souza (et al, 1998), as fissuras por deficiências de projeto são aquelas decorrentes de erros em dimensionamento de elementos estruturais ou, então, por falta de detalhamento destes projetos para a orientação da execução. São erros que, normalmente, resultam na manifestação de fissuras nas estruturas.



Ripper, Souza(2008) Patologia em estruturas é um campo recente de estudo da engenharia que estuda as origens, formas de manifestações, consequências e mecanismos de falhas dos sistemas das estruturas.

A manifestação de fissuras é indício de que a estrutura perde sua durabilidade e o nível de segurança, comprometendo sua utilização tanto na redução de sua vida útil quanto no prejuízo ao seu funcionamento e estética, podendo causar a corrosão da armadura, quando estas se encontram em ambiente agressivo (Carmona Filho, 2005).

O Bolor, popularmente conhecido como mofo está relacionado ao desenvolvimento de Fungos ocasionados pela presença de umidade e por ventilação e isolações inadequadas. (De Souza,2008), encontrasse nos pilares da superestrutura.

A umidade não é apenas um fator de ocasiona patologias ela também age como um meio para diversa patologias na construção ocorram, de forma que é um fator essencial para o aparecimento de eflorescências e bolores. (Verçosa, 1991 DE SOUZA, 2008)

O desgaste superficial do concreto são fatores de origem física que podem deteriorar a superfície do concreto e podem ocorrer de três formas que são a abrasão, erosão e cavitação. (Lapa,2008)

Erosão é o desgaste do concreto, provocado pelo carreamento de partículas finas pela ação da água. (Lapa,2008)

A abrasão é um desgaste do concreto pelo atrito das partículas sólidas, de forma que a resistência superficial e a dureza do concreto influenciam no aparecimento ou não da abrasão. (LAPA,2008)

As fissuras são oriundas normalmente por tensões geradas por cargas ou pela movimentação de matérias ou componentes estruturais. (Valle,2008)

De acordo com a espessura da abertura, as fissuras podem se classificar como fissura, trinca, rachadura, fenda ou brecha. (De Oliveira,2012).

No quadro abaixo, denomina e determina o tipo de classificação e indica os limites das espessuras das aberturas.

Figura 2: Classificação da anomalia conforme abertura.

Tipo de lesão	Abertura
Fissura	Até 0,5 mm



Trinca	De 0,5 mm a 1,5 mm
Rachadura	De 1,5 mm a 5 mm
Fenda	De 5 mm a 10 mm
Brecha	Acima de 10 mm

Fonte: ABNT NBR 9575

Há ausência de juntas de dilatação em obras de arte pode gerar o aparecimento de fissuras também, visto que segundo Ferreira(2013), juntas de dilatação fora, concebidas para dar continuidade a dois elementos contíguos, acomodando os movimentos da estrutura sem que haja transmissão de esforços.

O recalque de fundação é o rebaixamento causado pelo adensamento do solo sob a fundação de uma edificação. Segundo Maná (1978), o recalque diferenciado da fundação introduz tensões nas paredes capazes de gerar fissuras, notadamente por flexão ou distorção angular.

Segundo Vitorio (2002), as principais anomalias diagnosticadas em pontes e viadutos são: fissuras, desagregação, segregação, perda de aderência, corrosão do concreto e armaduras, abrasão no concreto do tabuleiro e falhas de concretagem. Porém muitos desses defeitos podem ser evitados e/ou minimizados por meio de manutenções nessas obras de arte, cujo objetivo é evitar deterioração, pois a falta ou ineficiência de manutenção é uma das principais causas da redução da vida útil das estruturas.

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NO COMPLEXO VIÁRIO LUIS AUGUSTO VEIGAS

Em uma estrutura, para que um sintoma seja classificado como patológico, deve comprometer algumas das exigências da construção, seja ela de capacidade funcional, mecânica ou estética. Assim, observa-se que existe uma forte relação entre a manifestação patológica e o desempenho da edificação, na medida em que sua avaliação é relacionada com o comportamento da estrutura em utilização. Logo, a análise das manifestações patológicas é função também de dois aspectos fundamentais: tempo e condições de exposição, tornando-a, assim, associada aos conceitos de durabilidade, vida útil e desempenho. (Andrade e Silva, (2005)).

Na vistoria técnica, foram identificadas as seguintes manifestações patológicas: ausência de acessibilidade, nas faixas de rolamento foram identificadas trincas transversais no

encontro do tabuleiro com a laje de aproximação; trincas isoladas FC-1(fenda de classe 1), afundamento de consolidação da trilha de rodas, panelas, desgaste acentuado na superfície do pavimento, ondulações, drenagem deficiente; nas estruturas: carbonatação; fissuras, lixiviação do concreto, falta de pingadeira, falta de dilatação, deterioração das instalações elétricas, rachaduras, matos, onde parte destas são de responsabilidades da execução do projeto e da falta de manutenção periódica.

De acordo com Giovannetti (2014), a principal finalidade da pavimentação é suportar as pistas de rolamento e transferir esses esforços para os elementos estruturais da ponte. Além de assegurar que o tráfego ocorra livre e com segurança.

Sendo assim, registrou-se que a pavimentação do viaduto não atende o que espera. A partir da figura 3 notasse uma patologia, tipo panela ou buraco na pista de rolamento, As panelas ou buracos, foram encontrados em poucos trechos porém em ambos os sentidos. Como esse viaduto tem um grande tráfego de veículos de cargas pesadas, a causa provável é o excesso de carga por eixo dos veículos, pois durante todo o processo de análise não foram encontrados nenhum tipo de equipamento de controle de peso dos veículos.

Figura 3: Patologia, tipo panela ou buraco



Fonte: acervo próprio.

Figura 4: Desgaste do pavimento da pista de rolamento.



Fonte: acervo próprio.

Figura 5: Asfalto com ondulações na pista de rolamento.



Fonte: acervo próprio

Figura 6: desnivelamento no encontro da placas de concreto com aterro.



Fonte: acervo próprio.

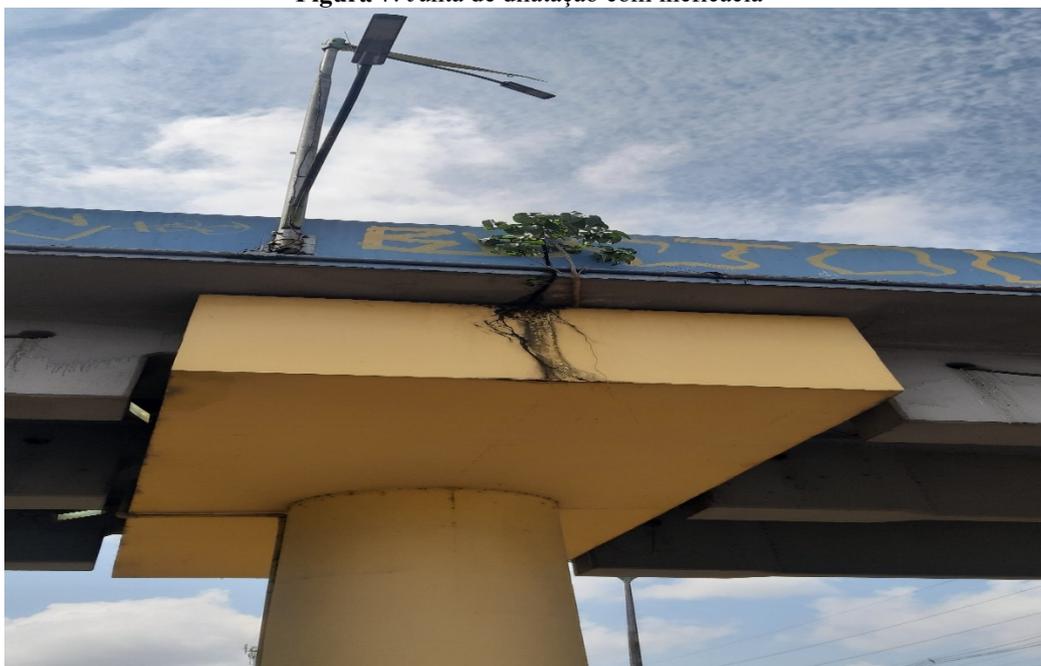
Na figura 6 pode-se verificar que no encontro entre a placa de concreto e o aterro, ocorreu um desnivelamento na pavimentação, este tipo de manifestação patológica causa desconforto, compromete a segurança do tráfego, além de influenciar na redução da vida útil do pavimento. As **juntas de dilatação em pontes e viadutos**, são os espaços confeccionados propositalmente para que as partes separadas por elas possam se movimentar, permitindo esforços como tração e compressão, comuns em qualquer obra civil, sem que a estrutura seja danificada.

Para AHRENS (2015), as juntas de dilatação devem assegurar que a movimentação total projetada da ponte sobre as juntas seja cumprida sem impactos ou danos aos elementos estruturais, garantir a continuidade da capa de rodagem e serem impermeáveis de forma a escoar a água sobre o tabuleiro de forma rápida e segura.

DNIT (2004) afirma que as juntas de dilatação possuem papel importante na composição da estrutura por atenuar os efeitos da temperatura e da retração, permitindo a divisão do tabuleiro em trechos, isostáticos. As mesmas possuem vida útil reduzida sendo relevante a realização de manutenções constantes.

As juntas de dilatação figura 7 pode-se verificar o seu desgaste e ineficácia na estrutura, provenientes da falta de manutenção, pode-se verificar a ausência de uma planta em sua superfície.

Figura 7: Junta de dilatação com ineficácia



Fonte: acervo próprio.

No viaduto em estudo, os dispositivos de segurança encontra-se visível a exposição de fissuras nos guarda-rodas que pode acarretar problemas futuramente se não houver manutenção.

DNIT (122/2009) as patologias das pontes e viadutos rodoviários de concreto armado são reveladas, principalmente, por trincas e fissuras de origens diversas; embora tais patologias sejam próprias do concreto armado, sua configuração, localização, número e abertura definem o grau de comprometimento da estrutura.

Figura 8: Fissuras no guarda-rodas



Fonte: acervo próprio



Fonte: acervo próprio.

Figura 9: Roubo de fiação.



Fonte: acervo próprio.

O viaduto não vem sofrendo só por patologias mas também com o vandalismo, tendo sua iluminação prejudicada com o roubo de fiação como mostra a figura 9.

RESULTADO E DISCUSSÃO

Neste trabalho apresentamos os principais tipos de patologias e as possíveis causas relacionadas a cada tipo de problema, visando assim, contribuir com profissionais da área, os problemas que podem ocorrer durante ou após a execução do projeto, para que tais agentes possam ser previstos durante a fase de criação do projeto.

Verificamos que nem sempre os cuidados necessários são tomados nas manutenções, fazendo com que a obra não atinja a qualidade esperada.

Para a elaboração de projetos de recuperação de pontes rodoviárias é de fundamental importância o conhecimento das condições de estabilidade das obras originais, de modo a permitir a melhor escolha possível dos métodos que serão adotados para garantir as condições de segurança e funcionalidade da estrutura. (Vitório e Barros, 2011).

Para que haja uma gestão eficaz das pontes e viadutos, é preciso um rigoroso cadastro de todas as obras nos trechos de sua jurisdição e basear-se em um programa de vistorias sistemáticas. Deverá, ainda, incluir diversas atividades técnicas, organizacionais e administrativas com o objetivo de instruir e colocar em prática ações que busquem a conservação, a recuperação, a ampliação e a substituição de obras (Vitório, 2006).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Complexo viário Eng. Luís Augusto Veigas Soares, localizada na cidade de Manaus – AM foi analisado mediante inspeção visual, com auxílio de registro fotográficos e literatura técnica, foi possível identificar várias patologias.

Na superestrutura há manifestações patológicas nas juntas de dilatação, no pavimento, no encontro das placas de concreto causando o desnivelamento da pista de rolamento, nos dispositivos de segurança. Na meso estrutura composto pelos pilares apresenta apenas fissuras, sendo que em grande parte dos pilares há ausência de patologias.

Conforme analisado no levantamento de dados, a estrutura não apresenta patologias que comprometam a curto prazo a segurança e funcionalidade do viaduto, mas, as patologias apresentadas nesse artigo, estas contribuem acentuadamente com a redução da sua vida útil.

Grande parte dos viadutos construídos apresentam problemas patológicos decorrentes da falta de manutenção e de inspeção das construções, afetando as condições de serviço e funcionamento da obra e as condições de segurança estrutural.

Com isso, na elaboração de novos projetos devem ser previstas medidas com o objetivo de aumentar a durabilidade das estruturas e de dotá-las de disposições construtivas que permitam e facilitem as ações de recuperação e manutenção (Vitório, 2006).

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 9575 – impermeabilização e Projeto. Rio de Janeiro. 2003.

CARMONA F. A. **Curso Prático de Diagnóstico, Reparo, Reforço e Proteção de Edificações em Concreto.** São Paulo: Abece, 2005.

DE OLIVEIRA, Alexandre Magno. **Fissuras, trincas e rachaduras causadas por recalque de diferencial de fundações.** 2012.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. NORMA DNIT 122/2009: **pontes e viadutos- estrutura de concreto armado – especificação serviço** – Procedimento. Rio de Janeiro: DNIT.

LANER, Felice José. **Manifestações Patológicas nos viadutos, pontes e passarelas do município de Porto Alegre.** Dissertação. Porto Alegre: UFRS, 2001.

LAPA, José Silva. **Patologia, recuperação e reparo das estruturas de Concreto.** Especialização em Construção Civil. UFMG. Belo Horizonte, 2008.



SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomaz. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo: Pini, 2009.

VITÓRIO, José Afonso Pereira. **Manutenção e Gestão de Obras de Arte Especiais. Anais do VII Encontro Nacional das Empresas de Arquitetura e Engenharia Consultiva**. VII ENAENCO. Recife, setembro de 2005.

VITÓRIO, J. A. P. **Vistorias, Conservação e Gestão de Pontes e Viadutos de Concreto**. Anais do 48º Congresso Brasileiro do Concreto, 2006.

VITÓRIO, J. A. P.; BARROS, R.M.M.C. **Recuperação, Alargamento e Reforço Estrutural de Pontes Rodoviárias no Brasil**, Anais do 6º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia, Moçambique, 2011.

CAPÍTULO 12

ELABORAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E ORGANOLÉPTICA DE UM XAMPU A PARTIR DO HIDROLATO EXTRAÍDO DA ERVA CIDREIRA (*LIPPIA ALBA*) ESPÉCIE POPULAR NO SUDESTE DO PARÁ, EM MARABÁ

Alciene Lima dos Santos
Márcia Brito de Jesus
Wallinson Pires da Cruz
Márcia Denise da Rocha Collinge
Rosemary Maria Pimentel Coutinho

RESUMO

Em razão dos novos conceitos desenvolvidos pela sociedade, o mercado industrial, principalmente, da área de cosméticos inovou, apropriando-se de produtos derivados de ativos naturais sem alguns derivados de compostos químicos que se mostraram prejudiciais à saúde do ser humano, como petrolatos e parabenos. O uso de ervas pode contribuir na composição de cosméticos, beneficiando o produto com seus princípios ativos. A extração de óleos essenciais para a produção de produtos de beleza, requer de métodos que favoreçam um maior rendimento e que preserve os bioativos das plantas. Através da extração por alambique foi possível a obtenção de hidrolato da erva cidreira, que produziu 3 Litros de xampu. Quanto a análise dos parâmetros organolépticos e físico químico, resultou em um produto dentro dos padrões exigidos, de cor branca, odor característico da erva cidreira, pH 6,0, viscosidade 5595,5 cP, não havendo separação de fases, nem grumos com densidade de $1,032 \text{ g.cm}^{-3}$. A relevância de uma formulação, dentro dos padrões, propiciou credibilidade e eficiência ao produto obtido. Por fim, o produto capilar manipulado, por se encontrar adequadamente no padrão, validou a formulação e possibilitou o uso do cosmético.

PALAVRAS-CHAVE: Farmacologia, Produto natural, Cosmético.

INTRODUÇÃO

Atualmente, observa-se que o mercado de cosméticos se expandiu, e isso é perceptível ao frequentarmos supermercados, farmácias, entre outros, onde sempre é encontrado um produto advindo desse mercado industrial. Também é possível nos estabelecimentos comerciais, encontrarmos itens cosméticos rotulados como sendo um produto vegano, sem petrolato, parabeno e sulfato, ou seja, as pessoas cada vez mais buscam por produtos com bioativos-naturais, devido aos novos conceitos contemporâneos da sociedade.

Seguindo a linha de pesquisa de Miguel (2011) as transformações ocorridas no mercado de consumo tem oferecido novas oportunidades para variados segmentos industriais, a exemplo, o mercado de cosméticos. E uma das inovações, designa-se ao desenvolvimento de produtos cosméticos derivados de ativos naturais da biodiversidade. Onde as plantas medicinais e



extratos vegetais, na fabricação de produtos naturais, dentre outras, matérias primas, obteve um grande potencial econômico.

As plantas medicinais são uma das fontes mais importantes de medicamentos utilizados na indústria farmacêutica. Dentre as plantas medicinais tradicionais, os tipos Verbenaceae são as constituídas de princípios ativos utilizados em diversos tratamentos (FERRAZ et al, 2013), fornecem uma fonte amplamente inexplorada para o desenvolvimento potencial de ingredientes ativos para formulações cosméticas (GAMAGE et al, 2021). Quanto aos óleos essenciais, esses são primordiais materiais de base natural para a produção de cosméticos, são obtidos através de arraste a vapor, destilação e prensagem de sementes, frutos, flores, cascas e folhas.

De acordo com os estudos de Gamage et al (2021), 133 espécies diferentes de plantas pertencentes à 64 famílias são utilizadas em tratamentos cosméticos nas categorias de cuidados com a pele, cabelos e higiene bucal. A parte da planta mais utilizada são as folhas, seguida da casca. A pesquisa revelou ainda sobre tratamentos para 17 problemas de beleza relacionados à pele, 9 ao cabelo e 2 à beleza oral. As preparações de ervas são geralmente à base de água como meio, enquanto o modo mais comum de aplicação foi relatado como pasta. E ainda, segundo o estudo, essas informações podem ser utilizadas para o desenvolvimento da indústria de cosméticos fitoterápicos por meio do isolamento e caracterização de compostos bioativos das plantas documentadas, preservando o conhecimento tradicional.

A erva *Lippia Alba* (Mill.) N. E. Brown (Verbenaceae), conhecida popularmente como “erva cidreira brasileira”, “erva-mate espessa” ou “capim limão”, seu nome vulgar varia em diferentes regiões do Brasil, é considerada uma planta aromática e medicinal, responsável por um odor bem forte e agradável, é bastante utilizada no preparo de chás, macerada em compressa, banhos e xaropes (AGUIAR et al, 2008 e SOUZA et 2021). Na medicina popular a planta é usada como calmante, para problemas de indigestão, dores, tosse, resfriado, no combate à hipertensão, sedativo e analgésico (HEINZMANN et al, 2007, SOUZA et al, 2021). As várias propriedades que essa erva cidreira possui, devem-se aos constituintes ativos existentes no óleo essencial presentes no talo e nas folhas do vegetal (CUNHA, 2012).

As características de solo, clima e variadas condições locais conferem ao óleo essencial da erva cidreira brasileira, composições químicas diferentes dependendo da localização geográfica em que se situam. Os quimiotipos mais citados na literatura são a carvona, linalol e o citral, estes são os constituintes majoritários do óleo essencial da erva (BARBOSA et al, 2006 e SILVA et al 2017). Os biótipos do constituinte possuem grande variedade o que transfere



hidratação e cuidados específicos aos fios de cabelo e couro cabeludo. Essas propriedades ativas têm finalidades diversas e uma delas é transferir ao cosmético uma fragrância de perfume, limpeza e hidratação dos fios.

Dependendo da técnica utilizada para a obtenção do óleo essencial é possível adquirir um hidrolato, que é um líquido constituído de mistura de água e óleo essencial. De acordo com Franzener et al (2007), é um líquido resultante do processo da extração de óleo essencial por arraste a vapor, em sua composição apresentam voláteis hidrossolúveis e grandes quantidade de princípios ativos como ácidos, aldeídos e aminas. Normalmente, são utilizados na preparação de xaropes e na cosmetologia. De acordo com Silva, 2017, seu principal composto é o citral, representando 64,66% da sua composição química, seguido da carvona, elemol e Hepten-2-ona-6-metil-5.

Segundo Darezzo (2019) os xampus foram originados na Alemanha, e esse produto só obteve grandes destaques após a Segunda Guerra Mundial. São itens destinados à limpeza e ao embelezamento dos cabelos. Algumas das qualidades do xampu são, promover os fios soltos, facilidade ao pentear e oferecer brilho aos diferentes tipos de cabelo. Ressaltando que para cada tipo de cabelo há um produto variado. Os cosméticos possuem diversos benefícios para a saúde humana, além de proporcionar a limpeza e a higienização dos cabelos, algumas das características marcantes da maioria desses produtos são o agradável odor, cores e a consistência.

Para Freitas (2014) a boa qualidade do xampu, precisamente está relacionada com a atenção que é dada ao momento da medição (preparação do produto) e a análise dos parâmetros, podendo esses ser verificada de maneira macroscópico, na qual possibilita a observação da coloração, odor e homogeneidade da mistura química, assim como, dos parâmetros físico-químicos, dentre eles podendo destacar o pH, viscosidade, densidade, capacidade de produzir espuma.

Por fim, visando o interesse do mercado por produtos cosméticos de origens naturais, e considerando que a erva cidreira é uma planta bastante popular e sua presença existe em abundância na região Sudeste do Pará, mais especificamente na cidade de Marabá, o respectivo trabalho teve como objetivo desenvolver um xampu, a partir do hidrolato da erva cidreira. Uma vez que essa planta aromática possui uma característica odorífera bem marcante, e também, características químicas que auxiliam na saúde.

MATERIAL E MÉTODOS

O processo da fabricação do xampu foi realizado em quatro etapas, sendo elas, coleta do material, extração de hidrolato, obtenção do cosmético e análise dos parâmetros organolépticos e físico-químicos do produto.

Coleta do material

A coleta da matéria prima, na qual foram colhidos folhas e talos da erva cidreira, ocorreu de forma manual em um horto caseiro, na cidade de Marabá, na sequência, realizou-se a pesagem e a lavagem em águas correntes, em busca de melhores resultados, a amostra vegetal permaneceu emergida na água por cerca de 24 horas.

Extração de hidrolato

Após o preparo da amostra, montou-se o equipamento de destilação, do tipo alambique (arraste a vapor), para obter maior rendimento. A destilação foi submetida a uma temperatura de 65°C, durante 40 minutos. Na etapa do processo de destilação, foram obtidos 8L de hidrolatos da erva, sendo que utilizou-se somente 2L para fabricação do produto e, na composição total, foram preparados 3L do hidrolato.

Obtenção do cosmético

A etapa de obtenção do produto cosmético dividiu-se em três fases, cada qual apresentando um objetivo benéfico para os cabelos, sendo elas, fase aquosa, fase oleosa e fase termolábil.

Na fase aquosa adicionou-se, em um recipiente que se encontrava em banho maria, o hidrolato da erva, quando o mesmo alcançou 50° C, a cera de abelha solubilizou-se com agitação. Na sequência, foram adicionados goma xantana, glicerina, uréia, propilenoglicol e álcool cetosteárilico (na dissolução da mistura, interrompeu-se o banho maria) que definiriam o grau de limpeza, hidratação e o aspecto do xampu.

Além das características dos ácidos graxos adicionadas pelos mesmos, os óleos vegetais possuem componentes que conferem características desejáveis especiais e medicinais para a saúde da pele e cabelo. (KIRSTEN e CAVAZZOLA, 2017)

Para a fase oleosa, foram acrescentados a manteiga de cupuaçu (promotor de solidez,) e alguns óleos vegetais, óleo de abacate (para reparação de danos e blindagem dos fios), óleo de linhaça (utilizados para cabelos ressecados), óleo de macadâmia (dá brilho e repara a elasticidade natural da fibra capilar), óleo de uva (previne queda e auxilia no crescimento) cada



um contendo uma concentração de 1,5%.

O intuito dessa fase oleosa, presente na formulação, foi responsável de cuidar, hidratar, promover a suavidade e maciez dos cabelos, proporcionando emoliência, brilho, elasticidade e aspecto hidratado aos cabelos, aumentando a uma umidade natural e elasticidade, condicionando-os devido a seu alto poder de absorção de água, promovendo a selagem das cutículas e proporcionando um brilho saudável com redução no volume. A formulação e seleção dos óleos vegetais foi elaborada para cabelos cacheados, uma vez que esses óleos são indicados para esse tipo de cabelo.

Na fase termolábil foram adicionados ingredientes, que corrigiram o pH da mistura, e o conservante cocoamidopropilbetaína com o objetivo de proporcionar quantidades ideais de espuma, consistência e viscosidade. O ácido cítrico e o cloreto de magnésio foram utilizados para o equilíbrio do pH e o sorbato de potássio como conservante.

Após o preparo completo da formulação do xampu houve um repouso necessário de mais de 24 horas, e então prosseguiu-se para as análises qualitativas.

Análise dos parâmetros organolépticos e físico-químicos do produto

De acordo Pereira et al (2020) os principais parâmetros que geralmente são avaliados devem ser definidos pelos formuladores e dependem das características da formulação dos componentes utilizados.

De um modo geral, avaliam-se características organolépticas (aspecto, cor e odor) e características físico-químicas (valores de pH, viscosidade e densidade). Portanto, nessa etapa realizou-se diferentes análises organolépticas que incluía a cor, odor, separação de fases, densidade, pH, viscosidade do produto obtido, sob uma temperatura ambiente de 26,8 °C.

Para a análise do parâmetro densidade, na medição, realizou-se de acordo com a Equação 01 para calcular a densidade, sendo, a razão entre massa dividida pelo volume.

$$d = m/v \text{ (Equação 01)}$$

O viscosímetro Modelo copo Ford de marca Marte Científica verificou a viscosidade da formulação. De acordo com Duarte et al (2017), esse método baseia-se na medição do tempo de escoamento de um determinado volume de líquido, necessário para calcular a viscosidade, que ocorre através de um orifício que pode ser selecionado de acordo com a viscosidade de cada material. A fórmula para calcular a viscosidade cinemática (ν), é a razão entre a viscosidade dinâmica (μ) e a densidade (ρ), podendo ser observada na Equação 02, a seguir:

$$v = \mu / \rho \text{ (Equação 02)}$$

O orifício selecionado para medição foi de número 4, adaptado da fórmula fornecida pelo manual do copo Ford, sendo a unidade encontrada em centiStoke - (cSt) equivalente à ($\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$), disposto na Equação 03.

$$V \text{ (Cst)} = 3,85 (t - 4,49) \text{ (Equação 03)}$$

Sendo o centiPoise - (cP), equivalente à (mPa.s), verificado na Equação 04.

$$V(\text{cP}) = V \text{ (cSt)} \times d \text{ (Equação 04)}$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com Goulart (2010) os produtos considerados capilares são compostos formulados por substâncias tensoativas, hidratantes e emolientes, que podem proporcionar a remoção de gordura, sujeiras e a presença de matéria estranha no cabelo ou couro capilar, permitindo que o cabelo fique leve, brilhantes e hidratados e, não modificam o pH do couro cabeludo.

Com base nisto, o Quadro 01, apresenta as substâncias/componentes e suas concentrações que foram utilizadas no desenvolvimento da formulação do presente xampu manipulado.

QUADRO 01- Formulação elaborada.

Componente	Concentração (%)	Função
Hidrolato de erva cidreira	64,50	Veículo
EDTA dissódico	0,10	Sequestrante
Glicerina	5,00	Umectante
Goma xantana	1,00	Espessante (emulsionante)
Ureia	3,00	Hidratante
Propilenoglicol	5,00	Emoliente
Álcool cetosteárilico	10,00	Espessante
Cera de abelha	0,30	Hidratante
Manteiga de cupuaçu	0,30	Emoliente
Óleo de abacate	0,05	Emoliente
Óleo de linhaça	0,05	Emoliente
Oleo de macadâmia	0,05	Emoliente

Óleo de uva	0,05	Emoliente
Cocoamidopropilbetaína	10,00	Tensoativo
Ácido Cítrico	0,10	Regulador de pH
Cloreto de Magnésio	0,10	Regulador de pH
Sorbato de potássio	0,50	Conservante

FONTE: Autor,2021

Para Vieira; Moreira; Frizzo (2017) os xampus devem conter em sua formulação constituintes específicos como propriedades molhantes, detergentes, emulsionantes e formadoras de espuma, neste caso são considerados os tensoativos. Estes são responsáveis por realizarem a remoção de sujidades e gorduras do couro cabeludo e fios do cabelo. Estabilizantes de espumas, agentes conservantes são utilizados para evitar o aparecimento e desenvolvimento de microrganismos no meio aquoso, são essenciais pois contribuem para o aroma e a cor. Os espessantes contribuem no aumento da viscosidade, e regulam o pH, os aditivos conferem características específicas ao cosmético e o diluente (geralmente a água) é o maior constituinte na formulação do xampu.

A partir da formulação, para o produto capilar xampu obtido, como sendo análises de muita importância foram realizadas as determinações macroscópicas e físico-química.

Dos parâmetros organolépticos realizados no xampu manipulado, obteve-se os seguintes resultados, quanto aos aspectos verificados todos demonstraram-se estável, pois apresentaram como características, um líquido viscoso, cor branca, um odor característico da erva cidreira, não havendo separação de fases, nem grumos que poderia indicar uma precipitação, sendo assim, aparentemente ofereceu um resultado satisfatório e uma credibilidade ao produto produzido.

Na análise de Guedes (2015), considera que na verificação das características organolépticas, como sendo um quesito relevante, em observação dos parâmetros de qualidade do seu produto, segundo ele a ocorrência de alteração de cor e odor podem indicar possíveis alterações químicas ou contaminação microbiológica no produto.

Segundo Goulart (2010), os métodos mais usados para ensaios físico-químicos são: a determinação do pH, determinação da viscosidades e determinação da densidade. Os ensaios físico-químicos são técnicas que consistem em determinar uma ou mais características de um produto. As análises físico-químicas são de alta importância para o controle de qualidade do

produto final. Estas análises podem indicar problemas de estabilidade dos ingredientes ou do processo de fabricação.

Em Castro (2018) menciona que quanto ao desenvolvimento de novas fórmulas de produtos, é de extrema importância a avaliação de parâmetros físico-químicos do produto, entre os quais se destacam a viscosidade e o pH, pois através dessas análises é possível determinar a qualidade do cosmético.

Os parâmetros físico-químicos realizados como densidade, pH e viscosidade, estão dispostos no Quadro 02.

QUADRO 02. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO FORMULADO

Parâmetro	Resultado no produto	Padrão de referência
Densidade ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	1,032	Santos (2020): 1,010 < 1,020
pH	6,0	Nóbrega (2018): 5 < 7
Viscosidade (cP)	5595,5	Amiralian et. el. (2018): 4000 < 7000

FONTE: Autor, 2021

Pereira et al (2020) citam que por meio da determinação do parâmetro densidade do xampu, podem sugerir a ocorrência da perda de ingredientes voláteis ou a incorporação de ar no produto. Analisando o Quadro 02 foi possível observar que a densidade adquirida na formulação, em estudo, foi de $1,0328 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, valor do limite máximo, se comparado com Santos (2020), em sua pesquisa, quanto à densidade dos xampus, que considerou de forma geral, deve encontrar-se entre 1,010 e $1,020 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Também mencionou que esse parâmetro não representa um problema quanto à eficácia do produto.

Como é possível observar no Quadro 02, o valor do pH resultante foi de 6,0, mostrando-se dentro do padrão quando comparado com Souza e Nóbrega (2018) que recomendaram que os xampus tenham o pH na escala de 5 a 7, se o pH for maior abrirá as cutículas (deixando-a com um aspecto áspero) em maior profundidade. Pois, em condições ideais, o pH do cabelo é levemente ácido, está entre 4 e 5, e a utilização de determinados tipos de xampus pode levar a mudanças do pH do cabelo, assim como, causando alterações na estrutura capilar. Portanto, um xampu neutro é considerado melhor para os cabelos, comparado com um xampu em meio alcalino, mas o ideal é que seja levemente ácido. Segundo Guedes (2015) assinala que, tratando da formulação de um produto capilar, o pH deve se encontrar de forma adequada, para assim, preservar a saúde do fio do cabelo.

Na determinação da viscosidade, a média do tempo foi calculada em 1916 segundos. A



partir da fórmula usada para calcular a viscosidade obteve-se o valor 5595,5 cP. Segundo Amiralian et. el. (2018) a característica físico química do xampu líquido, no caso da viscosidade deve se encontrar entre 4000 e 7000 cP. A partir disso, foi observado que a formulação do cosmético produzida apresentou-se de forma adequada.

Considerando a análise da viscosidade, as formulações elaboradas devem encontrar-se com a viscosidade que possibilite a aderência das substâncias ao couro cabeludo, sem que promova alguma reação indesejada, como também, deve permitir a facilidade do escoamento da embalagem, fator esse que não acontece quando se tem uma viscosidade muito alta (FREITAS, 2014).

Nosso estudo se dedicou ao hidrolato extraído da erva *Lippia Alba* (Mill.) N. E. Brown (Verbenaceae) para produção de um xampu obtendo um bom rendimento e um produto de boa qualidade. No entanto, não há literatura disponível que descreva a biologia e atividade de hidrolatos e outros extratos aquosos de plantas exclusivamente para produção de cosméticos. Portanto, a próxima etapa deste trabalho será a exploração de outros hidrolatos, presentes na diversidade de plantas, existentes na região sudeste do Pará e, que tenham aplicabilidade na Cosmetologia.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Concluímos que a formulação do xampu capilar produzido teve como finalidade a remoção de sujeira, gordura e material estranho do cabelo e couro cabeludo. A formulação do produto, esteve adequada para o uso, permanecendo de acordo com os parâmetros estabelecidos, tanto em características organolépticas quanto físico-químicos para as percepções macroscópicas como cor, odor com um toque agradável e convidativo, através de um cheiro suave e único de erva cidreira, sendo esse importante, pois é uma forma de avaliação do cliente a utilização do hidrolato da erva cidreira na elaboração do produto cosmético, pois mostrou-se além de ser usado como veículo no processo da produção do xampu, ainda contribuiu como fragrância/perfume e com seus princípios ativos.

Por fim, nas análises físico-química, também apresentou pH adequado, sendo um parâmetro muito significativo, pois o produto formulado para uso como xampu, não pode alterar o pH do cabelo ou couro cabeludo que tem pH ideal entre 5 e 6. A densidade e a consistência da viscosidade mostraram-se dentro dos parâmetros, deste modo, validando a formulação e eficácia utilizada na preparação do produto cosmético.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – Campus Marabá Industrial, Dra. Rosemary Coutinho pela valiosa orientação, ao Laboratório do IFPA/CMI, à empresa NATURAL QUÂNTICA Cosméticos, Simão Sirineu da Silva Souza (Ney Hair) e a tec. em química Mayara Marques e ao grupo de pesquisa CTCMI: dgp.cnpq.br/dgp/espelhogrupo/7879366251134040.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, J. S.; COSTA M. C. C. D.; NASCIMENTO, S. C.; SENA, K. X. F. R. **Atividade antimicrobiana de *Lippia alba* (Mill) N. E. Brown (verbenaceae)**. Revista brasileira de Farmacognosia, v. 18, n. 3, p. 436-440, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbfar/a/bfxFXpHs654djJYV5ZTkg4B/?lang=pt>. Acesso em 06 jul. 2020.

AMIRALIAN, L.; FERNANDES, R. C. **Fundamentos da cosmetologia: Shampoo**. Cosmetics & Toiletries. Osasco, São Paulo, v. 30, p. 30-33, 2018. Disponível em: https://www.cosmeticsonline.com.br/ct/painel/class/artigos/uploads/c2ff1-CT301_Integra.pdf. Acesso em 12 jul. 2021.

BARBOSA, F. F.; BARBOSA, L. C. A.; SANTO, R. H. S. **Influência da temperatura do ar de secagem sobre o teor e a composição química do óleo essencial de *Lippia alba*(Mill) N. E. brown**. Química Nova, v. 29, n. 6, p. 1221-1223, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/DkJSLkwYRZdcbWVtj4Tf35m/?lang=pt>. Acesso em 04 jul. 2021.

CASTRO, I. L. O. **Estudo do desenvolvimento da formulação de um xampu sem sulfatos**. Monografia (Bacharel em Engenharia Química) - Centro de engenharias, Universidade Federal Rural do Semi-árido, Mossoró-Rio Grande do Norte. p. 43. 2018.

CUNHA A. L. B.; CHAVES, F. C. M.; BIZZO, H. R.; SOUZA, A. M. **Caracterização química do óleo essencial de erva-cidreira, nas condições de Manaus, AM**. Horticultura Brasileira, v. 30, n. 2, p. 5780-5784, 2012. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/66456/1/A4599-T8563-Comp.pdf>. Acesso em 11 jul. 2017.

DUARTE, A. K.; LIMA, M. C. F. S.; OLIVEIRA, F. M. **Análise da viscosidade de óleos lubrificantes novo e usado utilizando o viscosímetro copo Ford**. Seminário de iniciação científica do Instituto Federal de Minas Gerais - Instituto Federal de Minas Gerais, Betim-Minas Gerais. 2017. Disponível em: <https://www.ifmg.edu.br/sic/edicoes-anteriores/resumos-2017/analise-da-viscosidade-de-oleo-lubrificante-novo-e-usado-utilizando-o-viscosimetro-copo-ford.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2021.

FERRAZ et al. Cytotoxic effect of leaf essential oil of *Lippia gracilis* Schauer (Verbenaceae). **Phytomedicine (Stuttgart)**, 05-15, Vol.20 (7), p.615-621, 2013.



FRANZENER, G.; MARTINEZ-FRANZENER, A. S.; STANGARLIN, J. R.; CZEPAK, M. P.; SCHWAN-ESTRADA, K. R. F.; CRUZ, M. E. S. **Atividades antibacteriana, antifúngica e indutora de fitoalexinas de hidrolatos de plantas medicinais.** Semina: Ciências Agrárias, v. 28, n. 1, p. 29-39, 2007. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445744083004> Acesso em: 22 mar. 2021.

FREITAS, R. C. F. **Obtenção do extrato de *Syzygium jambolanum* DC. e uso como pigmento natural no desenvolvimento e avaliação da estabilidade de xampu matizador.** Trabalho de conclusão de Curso (Bacharel em Farmácia) - Centro de Educação e Saúde, Universidade Federal de Campinha Grande, Cuité-Paraíba, p. 65, 2014.

GAMAGE et al. Ethnopharmacological Survey on Medicinal Plants Used for Cosmetic Treatments in Traditional and Ayurveda Systems of Medicine in Sri Lanka. **Riaz Evidence-based complementary and alternative medicine**, Vol.2021, p.1-15, 2021.

GOULART, T. T. **Análise físico-química de cosméticos capilares da região de Assis.** Trabalho de Conclusão de Curso - Instituto Educacional de Ensino Superior de Assis, Fundação Educacional do Município de Assis, Assis-São Paulo, p. 50, 2010.

GUEDES, J. M. **Análise da eficácia e estabilidade de xampus contendo pantenol e vitamina A utilizados para o crescimento dos fios capilares.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Farmácia) - Centro De Educação e Saúde, Universidade Federal De Campinha Grande, Cuité-Paraíba, p. 88, 2015.

HEINZMANN, B. M.; BARROS, F. M. C. **Potencial das plantas nativas brasileiras para o desenvolvimento de fitomedicamentos tendo como exemplo *Lippia alba* (Mill) N. E. Brown (verbenaceae).** Revista do Centro de Ciências da Saúde, Santa Maria, v. 33, n. 1, p. 43-48, 2007. disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/revistasaude/article/view/6463>. Acesso em 18 jan. 2021.

KIRSTEN, I.; CAVAZZOLA, E. **Série: Preparo de produtos higiênicos limpeza com hidrolatos e óleos essenciais para uso caseiro.** Centro Ecológico, Folheto 3. 2017, Disponível em: <https://m.centroecologico.org.br/> Acesso em 30 junho de 2020.

MIGUEL, L. M. **Tendências do uso de produtos naturais nas indústrias de cosméticos da França.** Revista Geográfica de América Central, v. 2, p. 1-15, 2011. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=451744820171> Acesso em 27 out. 2020.

PEREIRA, G. C.; MURAT, S. C. M.; MAGALHÃES, B. S.; BENEVENUTO, B. R.; SILVA, L. D.; RIBEIRO, R. S. G.; PEREIRA, C. S. S. **Avaliação da estabilidade de um shampoo produzido com adição de óleo essencial de alecrim (*Rosmarinus Officinalis*).** Revista Teccen., v. 13 n. 1, p. 02-07, 2020. Disponível em: <http://192.100.251.116/index.php/TECCEN/article/view/2328>. Acesso em 31 jul. 2021.

SANTOS, F. S. **Desenvolvimento de xampu pediculicida a base de melão-de-são-caetano (*Momordica charantia* L.).** Monografia (Bacharel em farmácia). Centro de Educação e Saúde - Universidade Federal de Campinha Grande. Cuité-Paraíba, p. 63, 2020.

SILVA et al. *Lippia alba* (Verbenaceae) hydrolate as sedative of tambaqui (*Colossoma macropomum*) juveniles in simulated transport conditions. **Aquaculture Research**, 49:128–134, 2018. wileyonlinelibrary.com/journal/are.



SOUZA et al. Deciphering ploidal levels of *Lippia alba* by using proteomics. **Plant Physiology and Biochemistry**, 167, 385–389, 2021

SOUZA, J. B. P.; NÓBREGA, R. S. **Avaliação de parâmetros físico-químicos e eficácia de formulações comerciais de xampus de cetoconazol**. *Revista Saúde & Ciências online*. v. 7, n. 1, p. 45-64, 2018. Disponível em: <https://rsc.revistas.ufcg.edu.br/index.php/rsc/article/view/80/74>. Acesso em 22 jul. 2021.

VIEIRA, I. B.; MOREIRA, A. C.; FRIZZO, M. N. **Análise microbiológica em formulações de xampu: o controle da qualidade em produtos com e sem conservantes**. *Revista Contexto & Saúde*. v. 17, n. 33, p. 132-145, 2017. Disponível em: <https://www.revistas.unijui.edu.br/index.php/contextoesaude/article/view/4887>. Acesso em 18 jul. 2021.

Sites consultados:

AZAMBUJA, W. **Geraniol**. Oleos essenciais.org. 2019. Disponível em: <https://www.oleos essenciais.org/geraniol/>. Acesso em 21 jul. 2021.

AZAMBUJA, W. **Limoneno (D-limonene)**. Oleos essenciais.org. 2011. Disponível em: <https://www.oleos essenciais.org/limoneno/>. Acesso em 30 de jul. 2021.

Consuma consciente: O que é a manteiga de cupuaçu e seus benefícios. Ecycle, 24 fev. de 2015. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/manteiga-de-cupuacu/>. Acesso em 29 jul. 2021.

Consuma consciente: O óleo de macadâmia é saudável e eficaz para tratar os cachos. Ecycle, 2015. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/oleo-de-macadamia/>. Acesso em 29 jul. 2021.

DAREZZO, A. **Produção de shampoos**. *A Química da Beleza*. 2019. Disponível em: <https://www.quimicadabeleza.com/producao-de-shampoos>. Acesso em 21 mar. 2020.

Manteiga de cupuaçu fonte das essências 100g. Meu cabelo natural. Disponível em: <https://www.meucabelonatural.com.br/manteiga-de-cupuacu-100g/>. Acesso em 30 jul. 2021.

O óleo de linhaça é bom para a saúde até da pele e dos cabelos. *A revista da mulher*, 07 ago. de 2017. Disponível em: <https://www.arevistadamulher.com.br/faq/29025-oleo-de-linhaca-e-bom-para-saude-ate-da-pele-e-dos-cabelos>. Acesso em: 29 jul. 2021.

O que é D'limoneno solvente e para que serve. Loja do profissional, 18 de mar. de 2019. Disponível em: <https://blog.lojadoprofissional.com.br/o-que-e-dlimoneno-solvente-e-para-que-serve/>. Acesso em 30 jul. 2021.

CAPÍTULO 13

ANÁLISE DA PAISAGEM URBANA DO MUNICÍPIO DE ARACAJU: PROJETO INSPIRADO EM TABULEIRO DE XADREZ

Milleny Gabrielle Santos
Paulo Sérgio de Rezende Nascimento

RESUMO

A capital sergipana surgiu em meio a muitos interesses econômicos e sua construção ocasionou o aterramento de muitos riachos, manguezais e canalização dos rios. O presente trabalho explora o Projeto do Engenheiro Sebastião José Basílio Pirro na cidade de Aracaju, cuja ideia inicial foi baseada em um tabuleiro de xadrez. Conhecido também como o “Quadrado de Pirro”, o projeto abrangia 32 quadras e seu marco zero era na Praça do Palácio, atual Praça Fausto Cardoso. Construída em uma região cheia de irregularidades topográficas, a área foi aplainada para a construção dos quarteirões de ruas bem planejadas e simétricas, visando desembocar no rio Sergipe. Dessa forma, atenderia aos interesses da época, que exigiam celeridade para a transferência da nova capital para Aracaju, que na época era São Cristóvão. O objetivo desse trabalho foi avaliar a influência desse planejamento histórico sobre os problemas atuais de saneamento. Para a realização do trabalho foram utilizados dados de artigos científicos e *software* QGIS e *Google Earth* para a construção dos mapas. Embora o sistema básico de saneamento tenha evoluído nos últimos anos, ainda é possível verificar os impactos das ações antrópicas do passado, refletindo adversamente no presente. A região estudada apresenta grande vulnerabilidade a alagamentos, na maioria dos casos decorrentes do assoreamento dos canais de drenagem, impermeabilização do solo e descarte inadequado dos resíduos sólidos. Portanto, são necessárias técnicas de intervenção que visem reduzir os impactos ambientais gerados pela deficiência do planejamento urbano da época, que, por sua vez, carecia de informações tecnológicas e socioambientais.

PALAVRAS-CHAVE: Quadrado de Pirro; Saneamento Básico; Planejamento Urbano

INTRODUÇÃO

A criação da cidade de Aracaju, tornando-a capital sergipana, ocorreu pela sua facilidade logística marinha e fluvial para exportação açucareira com relação à antiga capital São Cristóvão no século XIX. A necessidade da construção de um novo porto veio acompanhado por um projeto de uma cidade em forma de um tabuleiro de xadrez, denominado de Quadrado de Pirro (MAYNARD, 2017). O Quadrado era definido por ruas retas e quarteirões retangulares, simétricos, obedecendo a uma geometria rígida. O projeto do tabuleiro de xadrez parecia algo simples, mas logo surgiram as dificuldades ao se impor essa geometria urbana às características geográficas naturais.



Após o surgimento da nova capital sergipana, uma epidemia de cólera devastou a província (SILVA, 2016). Havia também outras epidemias que devastavam todo território sergipano, entre elas a febre amarela em 1919. Com isso, as obras de saneamento básico surgiram durante o final do século XIX e início do século XX. Em novembro de 1892 foi aprovado o decreto nº. 38 que tratava sobre o “Regulamento Sanitário do Estado”, criando o cargo de “inspetor de higiene” para cada município do estado de Sergipe, dentre os cargos havia o de vigilância sanitária. Porém, essas medidas iniciais não obtiveram grande êxito, uma vez que as condições sanitárias permaneciam sem progresso. No ano de 1905, o regulamento de 1892 foi substituído pelo Decreto 536 que criava o Conselho Geral Sanitário. Desta forma, o combate às epidemias foi acentuado devido à atenção com a vigilância sanitária (SOUZA, 2011).

Atualmente, quando há ocorrência de precipitação em grandes quantidades, as ruas do Quadrado de Pirro alagam. Os alagamentos são decorrentes das obras de saneamento com pouca tecnologia e eficácia, somadas ao aterramento de grandes riquezas geográficas e ambientais, como os recursos hídricos superficiais. Esse cenário resulta em perda de bens materiais, disseminação de doenças de veiculação hídrica e contaminação de águas superficiais e subterrâneas (OLIVEIRA; SILVA; NASCIMENTO, 2020). Hoje em dia, a região apresenta poucas áreas verdes e uma grande extensão do território praticamente urbanizado e impermeabilizado, além de possuir uma topografia predominantemente plana. O descarte inadequado de lixo também é um fator que resulta em impedimento dos sumidouros, diminuindo a velocidade de escoamento de água e contribuindo para ocorrências de alagamentos.

Todos esses fatores contribuem para a disseminação de doenças, principalmente àquelas de veiculação hídrica, além de resultar em grandes transtornos econômicos e sociais. Além disso, o saneamento básico de qualidade reflete no sistema de saúde e contribui no desenvolvimento populacional. Segundo a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA, 2013), o saneamento e a promoção da saúde pública estão interligados. É possível controlar e eliminar alguns fatores indesejáveis na saúde com o uso adequado do saneamento básico. A Lei 11.445/2007 que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico declara que todo ser humano tem direito a esse serviço independentemente da localidade onde residam. Entre os serviços de saneamento estão à limpeza urbana, manejo dos resíduos sólidos e tratamento adequado de esgoto, esses serviços são essenciais para a promoção da dignidade humana.



O presente estudo, utilizando técnicas de sensoriamento e geoprocessamento, visa expor a situação atual dos pontos de escoamento de água pluvial e o descarte dos resíduos sólidos da região. Além disso, também foram relacionadas às ações de uma época na qual havia pouco conhecimento sobre saneamento e os impactos que essas ações causam nos dias de hoje. No desenvolvimento do estudo também foram expostas as mudanças que ocorreram no decorrer dos anos.

REFERENCIAL TEÓRICO

O leito menor do rio ou leito de estiagem é a zona ocupada por uma quantidade menor de água (BACIAS HIDROGRÁFICAS, 2008). Souza (2010) define o leito menor do rio como área que sofre invasão de água durante os períodos de cheia. Existe também o leito expandido, podendo ser nomeado como leito maior, leito de inundação ou várzea. É nessa área que se ocorrem enchentes, inundações e alagamentos periódicos.

A defesa civil denomina enchente como “temporária elevação do nível d’água normal da drenagem, devido o acréscimo da descarga”. É um evento natural em que o leito menor do rio é completamente preenchido por água, ocasionando sua saturação. Desta forma, a água transborda provocando a inundação da várzea (AUGUSTO, 2020). Toda essa dinâmica resulta em alagamentos nos centros urbanos impermeabilizados, causados pela inundação do rio decorrente da água da chuva. O planejamento urbano inadequado gera a possibilidade de possíveis transtornos, uma vez que a vegetação é retirada para ceder espaço ao crescimento de grandes centros urbanos, resultando na impermeabilização do solo.

Entre os maiores problemas de saneamento estão o mau planejamento e construção de sistemas que não pautam as reais necessidades locais, além da ineficiência das operações e manutenção dos sistemas. A drenagem urbana tem como função minimizar a presença de circulação de água em meios urbanos. Nos últimos anos as cidades brasileiras apresentaram poucos avanços no sistema de esgoto. Em países subdesenvolvidos como o Brasil, existe um baixo índice de tratamento do esgoto coletado, além disso, apresenta também certa deficiência de coleta de esgoto cloacal. Como resultado dessa ineficiência grande parte das águas de drenagem pluvial são contaminadas pelo esgoto *in natura* (SILVEIRA, 2002).

As redes de drenagem são divididas em sistemas de microdrenagem e macrodrenagem. Os sistemas de microdrenagem são responsáveis pela coleta de águas urbanas, como por exemplo, sumidouros. Já a macrodrenagem é responsável pela coleta em maiores dimensões,



captam toda água proveniente dos sistemas de microdrenagem (OLIVEIRA; SILVA; NASCIMENTO, 2020).

É importante ressaltar que áreas com cobertura vegetal servem como prevenção e solução para os problemas de alagamento. Segundo Queiroz (2020), o papel da vegetação no ambiente é de proteção para o solo em relação às ações da pluviosidade, como por exemplo, os processos erosivos. As áreas verdes reduzem a velocidade da água, possibilitando o aumento da infiltração e percolação no solo. Por se tratar de um processo lento, são inversamente proporcionais à velocidade do fluxo da água e à entrada da mesma no solo. Consequentemente a percolação da água tende a aumentar.

A retirada da vegetação gera a impermeabilização do tecido urbano, alterando a capacidade do solo de absorver água. A ocupação dos centros urbanos deu espaço aos processos de asfaltamento do solo, constituído de materiais de difícil infiltração da água. Também a má canalização de águas pluviais ou o entupimento das vias de passagem possibilitam a ocorrência de áreas alagadas (BHRECICLA, 2021).

Os resíduos sólidos são materiais heterogêneos podendo ser resultantes das atividades humanas e da natureza, os quais podem ser reutilizados. Os resíduos quando manuseados e dispostos de forma inadequada no meio ambiente podem ocasionar problemas sanitário. O assoreamento e a redução do fluxo de escoamento nos canais de drenagem pela disposição inadequada de resíduos é um dos problemas decorrentes da insuficiência sanitária atual. A administração municipal é responsável pelos sistemas de água, esgoto e lixo, podendo terceirizar esses serviços. Porém, para muitos municípios das cidades brasileiras a destinação final do lixo apresenta sérios problemas. Essa precariedade dos serviços de saneamento ocasiona grande parte da proliferação de doenças e epidemias, enfraquecendo o controle da disseminação de vetores. Dessa forma, as condições insuficientes de saneamento fazem com que os índices de mortalidade cresçam significativamente por doenças infecciosas e parasitárias (FUNASA, 2013).

A Norma Brasileira (NBR) 10.004 classifica os resíduos sólidos em duas classes distintas: classe I (perigosos), classe II (não perigosos). Sendo a classe II dividida em duas subclasses (FUNASA, 2013). A tabela 1 contextualiza cada uma delas.

Tabela 1: Classificação dos resíduos sólidos

CLASSE I	Resíduos perigosos: são aqueles que apresentam riscos significativos à saúde pública e ao meio ambiente. Podendo ser inflamáveis, corrosivos, reativos, tóxicos e patogênicos.
CLASSE II A	Resíduos não-inertes: são os resíduos que não apresentam periculosidade, porém apresentam combustibilidade, além de serem biodegradáveis e solúveis em água.
CLASSE II B	Resíduos inertes: Geralmente são resíduos recicláveis, que ao entrar em contato com a água a mesma permanecerá potável.

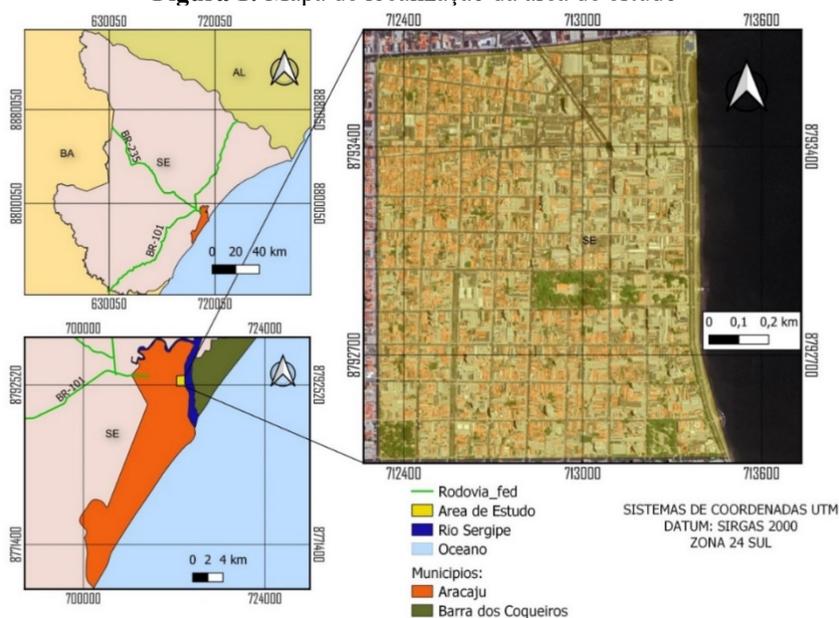
Fonte: Adaptado de FUNASA (2013)

A Confederação Nacional de Municípios (CNM, 202?) classifica saneamento básico como: “conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável; esgotamento sanitário; limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais, limpeza e fiscalização preventiva das respectivas redes urbanas”. É dever do Plano de Saneamento Básico tomar medidas de contingências e de emergências. Portanto, reconhecer a falta de um planejamento eficiente e a necessidade de melhoria dos serviços prestados é o primeiro passo para enfrentar esses problemas.

METODOLOGIA

A Figura 1 mostra a área de estudo, limitando-se ao leste com o Rio Sergipe, essa região constitui-se em um dos principais pontos turísticos da cidade de Aracaju, pois possui um amplo patrimônio histórico, que servem de atração para o turismo (MORATO; SILVA, 2016).

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Os autores (2021)



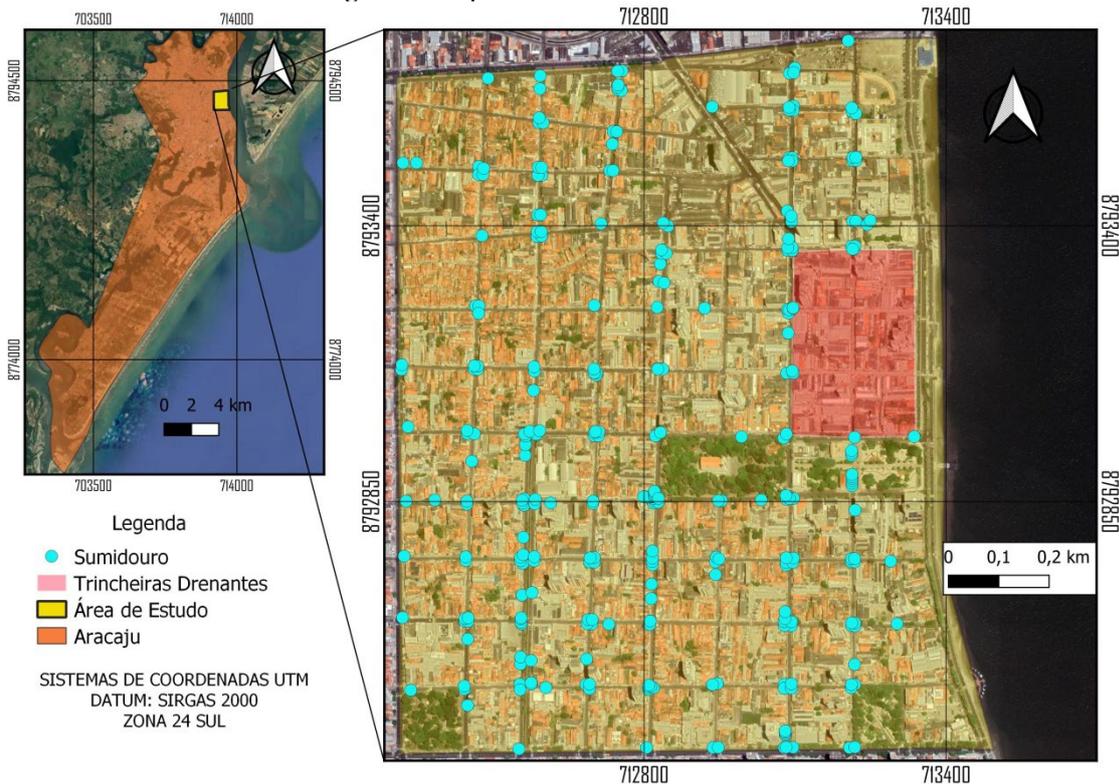
Para a realização do trabalho foi utilizado o programa computacional de geoprocessamento QGIS 3.16 da *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo). Também foi utilizadas imagens do *Google Earth* para representar a área em estudo. A bibliografia fundamentou-se em pesquisa sobre o Projeto de Pirro e os impactos ambientais causados pela influência do homem na natureza. Considerou-se também o estudo de algumas medidas de mitigação realizadas no decorrer dos anos. Os dados digitais utilizados na confecção dos mapas encontram-se disponibilizados no *site* da Superintendência Especial de Recursos Hídricos e Meio Ambiente (SERHMA) e pela Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária (EMBRAPA).

As elaborações dos mapas seguiram a legislação vigente que define o uso do Datum SIRGAS-2000. Inicialmente foram adicionadas ao QGIS camadas vetoriais delimitando os estados, municípios e rodovias. Esses, por sua vez, houve a necessidade da realização de validação topológica, já que alguns desses dados vetoriais (*shapefiles*) apresentavam falhas, duplicação de linhas e ultrapassavam os limites das regiões conforme visto pelo *Google Earth*. Em seguida foram adicionadas as camadas vetoriais que demarcam os bairros do município de Aracaju, depois recortada para obter apenas o bairro em estudo, e posteriormente, realizou-se a digitalização dessa área também. Por fim, houve a necessidade da criação de algumas camadas que representavam os pontos de escoamento de água e lixeiras na área em análise.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 expressa a disposição de pontos de escoamento de água, sendo possível observar que alguns escoadouros apresentam estruturas danificadas e alguns chegam a ficar obstruídos, parcialmente ou integralmente, por pedaços de concreto, expressando o descaso dos órgãos responsáveis por essas redes. Além disso, foi observada a presença de boca de lobo em muitas esquinas e levantou-se a hipótese que esse poderia ser um padrão de instalação dessas redes. Se for o caso, é possível que em alguns desses pontos decorreu-se o aterramento de sumidouros. Também houve ruas com ausência de pontos de escoamento, outras que dispunha desses pontos com certa carência. O calçadão de João Pessoa, delimitado pelas ruas São Cristóvão e Laranjeiras, possui trincheiras drenantes. Essas estruturas são capazes de captar, conduzir e escoar com rapidez e eficiência o excesso de água da chuva (MANTASBRASIL, 201?). É possível constatar a necessidade de manutenção nessas estruturas visto que eventualmente não se encontram em condições adequadas.

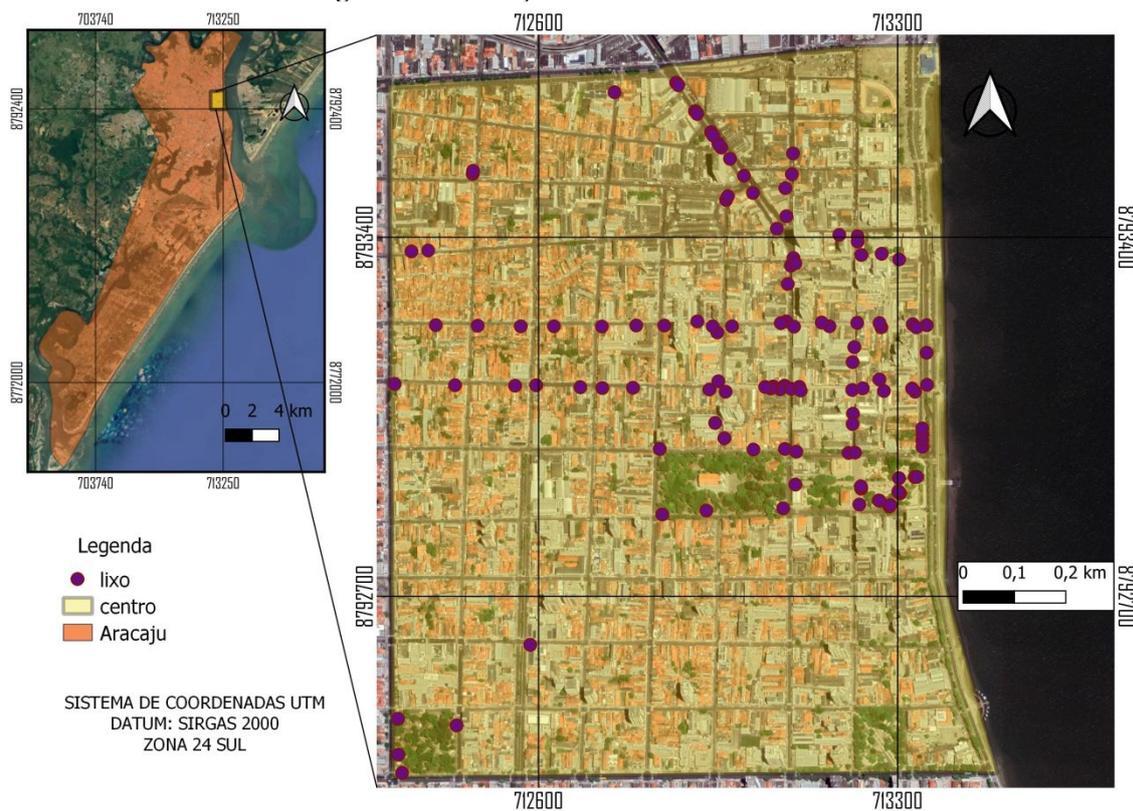
Figura 2: Mapa dos sumidouros do bairro centro



Fonte: Os autores (2021)

Outro fator de grande importância é destacado ao analisar a figura 3, que retrata a distribuição de lixeiras de forma irregular, havendo quarteirões com ausência dessas. Os resíduos sólidos quando não descartados da forma devidamente necessária passam a cooperar na obstrução das redes de drenagem urbana. Principalmente quando se trata de uma região onde se concentram as atividades comerciais e financeiras, gerando um acúmulo de pessoas todos os dias. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) define esses resíduos como “todo material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade”. Segundo ela, é grande a chance desses resíduos serem úteis para outras pessoas, seja na sua forma original ou reciclado (PROTEGEER, 2018). E assim, acentua a importância da coleta de lixo de forma adequada, pois refletem em uma diminuição das dificuldades que os trabalhadores autônomos, recolhedores desses materiais, enfrentam. Ademais, o manuseio adequado dos resíduos sólidos evita grandes impactos ao meio ambiente, entre eles a contaminação de corpos d’água, ao passo que ressalta a importância da reciclagem, dando uma nova utilidade a esses produtos.

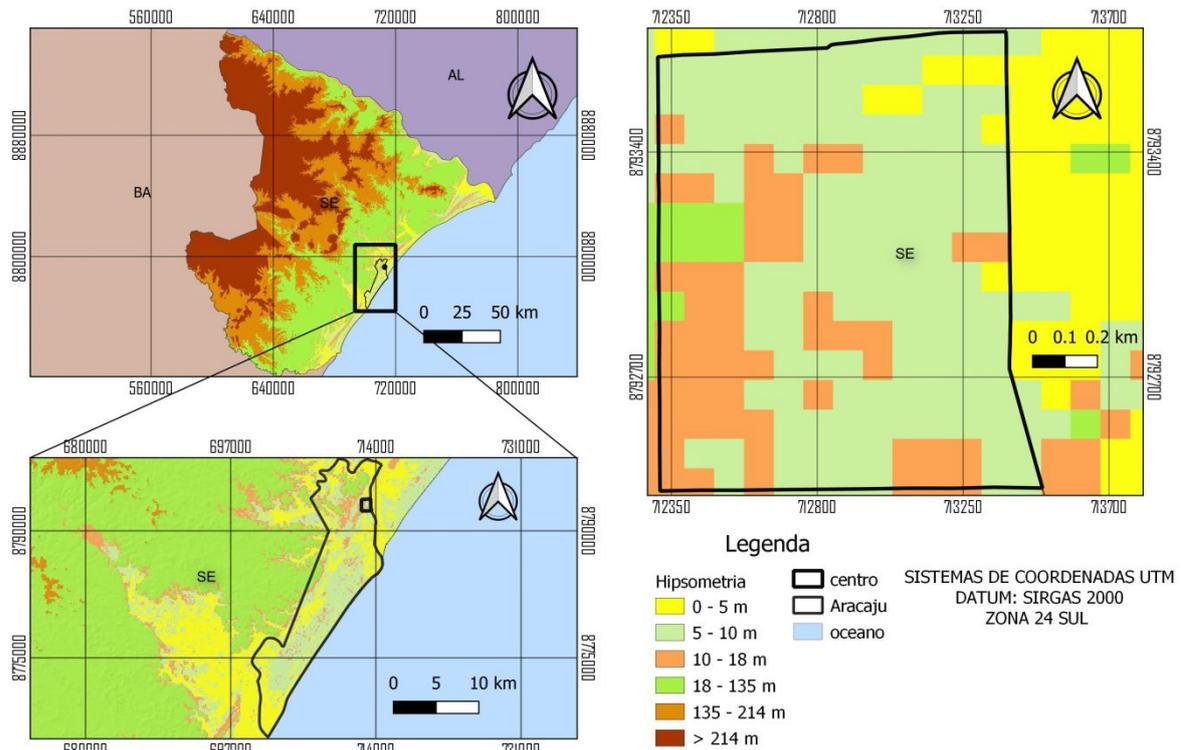
Figura 3: Distribuição de lixeiras do Bairro Centro



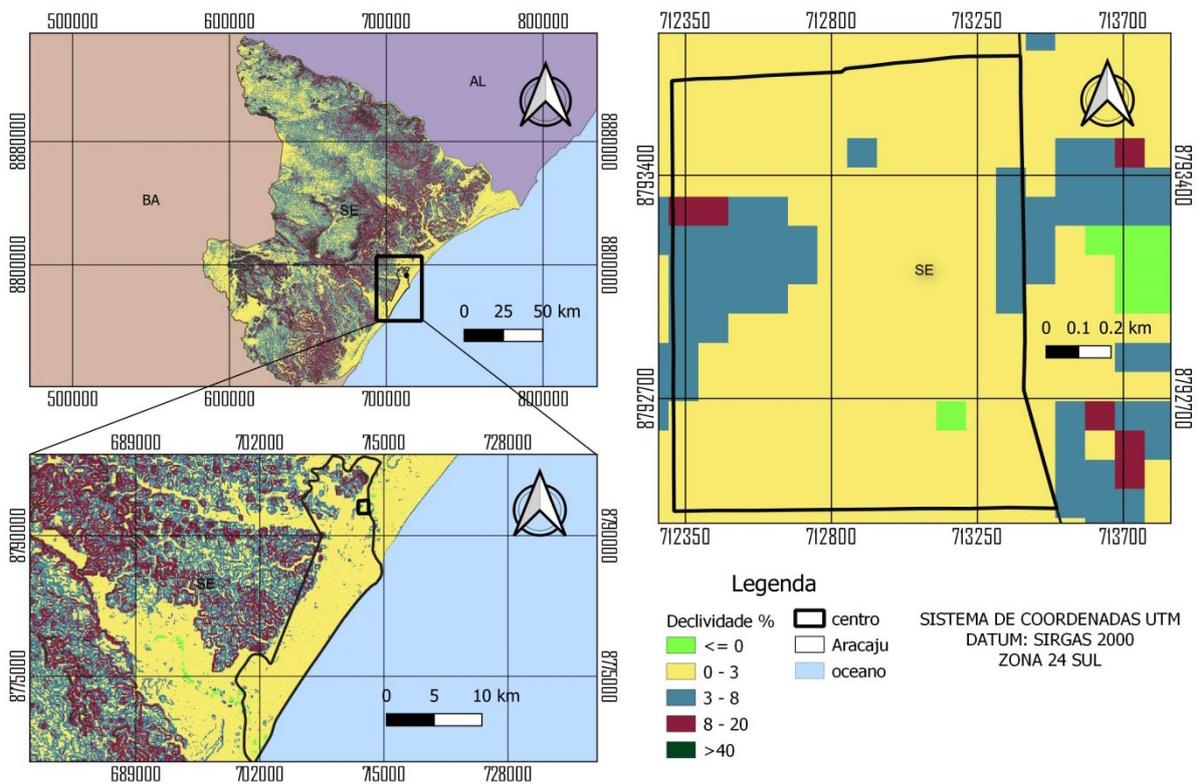
Fonte: os autores (2021)

A primeira planta do Bairro Centro apresentava 32 quadras (MAYNARD, 2017), porém hoje são aproximadamente 89 quadras. Essa expansão contribuiu na alteração da impermeabilidade do solo, ocasionando o agravamento do escoamento superficial e alagamentos recorrentes. Tais problemas estão relacionados ao aterramento de muitos córregos, dunas e brejos durante a fundação da cidade de Aracaju, resultando em intervenções no espaço geográfico e ambiental (CAVALCANTE, 2014). Trata-se de uma região ao nível do mar, não havendo muitas variações topográficas, uma vez que região foi projetada para ser totalmente plana como um tabuleiro. Por esse motivo, ao fazer uma análise do mapa das figuras 4 e 5, percebe-se a ínfima variação hipsométrica e da declividade, respectivamente, sendo necessária a aplicação de intervalos de classes excessivamente estreitos.

Figura 4: Mapa Hipsométrico



Fonte: Os autores (2021)



Fonte: Os autores (2021)

É possível que as questões ambientais não tenham sido levadas em consideração na fundação da cidade, por se tratar de uma construção antiga e, contudo, técnicas obsoletas. O



projeto inicial não previa os transtornos vivenciados atualmente, principalmente quando há ocorrência de grandes chuvas, época essa em que os pequenos, médios e grandes empresários sofrem com alagamentos. Esses eventos derivam em perdas financeiras à proporção que perdem materiais, deste modo, afetando a socioeconomia. Essas perdas podem gerar situações de difícil superação, uma vez que produtos danificados não dão retorno para empresa, causando desperdício financeiro. E assim, conclui-se que no que diz respeito a uma deficiência de engenharia remete também a uma intervenção econômica e social.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O bairro centro da cidade de Aracaju foi área de um planejamento obsoleto que não considerou o crescimento acelerado dos últimos anos. Por se tratar de uma área já urbanizada e em grande faixa comercial, a implantação de áreas verdes já não é mais uma estratégia viável, contudo é uma ação de mitigação a realização de obras estruturais como, por exemplo, pavimento poroso e um aumento de trincheiras de infiltração, soma-se a essas ações a limpeza periódica da rede de drenagem da região. Por fim, concluímos que o problema de drenagem, embora a responsabilidade de maximização seja dos órgãos públicos atuais, é resultado de um planejamento histórico e obsoleto que visava apenas os interesses da época.

AGRADECIMENTO

À SERHMA, pela disponibilização do Atlas digital completo do estado de Sergipe. À EMBRAPA por conceder os dados do SRTM. A todos que direta ou indiretamente me ajudaram.

REFERÊNCIAS

AUGUSTO, V. **Enchentes urbanas ou inundações? Ou seriam alagamentos?** Youtube, 04 mar. 2020. Disponível em: <<https://youtu.be/nk27tUr3oFc>>. Acesso em: 19 jul. 2021.

BACIAS HIDROGRÁFICAS. **Leito**, 2008. Disponível em: <<https://baciasb1.blogspot.com/search/label/http%3A%2F%2Fblogs.3e.com.pt%2Fmedia%2Fvaledobaixosaborf.jpg>>. Acesso em: 15 out. 2021.

BHRECICLA. **Impermeabilização do solo: entenda esse problema**, 2021. Disponível em: <<https://bhrecicla.com.br/blog/impermeabilizacao-do-solo-entenda-esse-problema/>>. Acesso em: 19 out. 2021.

PROTEGEER (BRASIL). **O que são resíduos sólidos?** In: PROTEGEER. Brasília, DF: Protegeer, 21 mar. 2018. Disponível em: <<http://www.protegeer.gov.br/rsu/o-que-sao>> Acesso em: 21 jun. 2021.



BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Processos hidrológicos**. 02 out. 2017. Disponível em:< <https://defesacivil.es.gov.br/Media/defesacivil/Capacitacao/> > Acesso em: 19 jun. 2021.

CAVALCANTE, L. A. L. M. A produção desigual do espaço urbano: uma análise do bairro bugio em Aracaju-SE. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEÓGRAFOS, 7. 2014. Vitória. **Anais...** Vitória: AGB, 2014. p. 7.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICIPIOS - CMN. **Saneamento: resíduos sólidos**. CMN, 202?. Disponível em: < https://www.cnm.org.br/cms/biblioteca/Orientacoes_Plano_Contingencia_Residuos_Solidos_COVID19.pdf > Acesso em: 15 out. 2021.

FUNASA. FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Resíduos sólidos e a saúde da comunidade: informações técnicas sobre a interrelação saúde, meio ambiente e resíduos sólidos** – Brasília: Fundação Nacional de Saúde/ Funasa, 2013.

MANTASBRASIL. **Geocomposto trincheiras drenantes**, 201?. Disponível em:< <https://www.mantasbrasil.com.br/geotextil/geocomposto-drenante/geocomposto-trincheira-drenante/> > Acesso em 21 jun. 2020.

MAYNARD, A. **Quadrado de Pirro: nosso eterno centro** (parte 1). Minha Terra é Sergipe, 2017. Disponível em:< blogminhaterraesergipe.blogspot.com >. Acesso em: 21 jun. 2021.

MORATO, A.; SILVA, K. **Um passeio pelo centro histórico de Aracaju-SE**. Meu Destino, 2011. Disponível em: < blogmeudestino.com/centro-historico-de-aracaju-se/ >. Acesso em: 21 jun. 2021.

OLIVEIRA, K. S.; SILVA, M. L. B.; NASCIMENTO, P. S. R. Análise geoespacial da vulnerabilidade a riscos de alagamentos por técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. *In*: ULHÔA, J. L. R. **Biodiversidade, meio ambiente e desenvolvimento sustentável**. Piracanjuba: Conhecimento Livre, Cap. 43, p. 539 – 562, 2020.

QUEIROZ, B. **Problemas ambientais urbanos: enchentes e inundações**. Youtube, 25 out. 2020. Disponível em: < <https://youtu.be/Wg8j3OZAG70> >. Acesso em: 19 jul. 2021.

SILVA, F. C. N. **A energia elétrica na cidade de Aracaju nas primeiras décadas do Séc. XX**. São Cristóvão, SE, 2016. Monografia (Graduação em História) - Departamento de História, Centro de Educação e Ciências Humanas, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2016.

SILVEIRA, A. L. L. **Drenagem Urbana**. 1. ed. Porto Alegre-RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.

SOUSA, A. L. O discurso da modernização de Aracaju e as epidemias nas primeiras décadas do século XX. **Ponta de Lança**, v. 4, n.8, p. 45 – 53, 2011.

SOUZA, F. F. **Bacias Hidrográficas**. Aprender, 2010. Disponível em: < <http://www.ufscar.br/aprender/aprender/2010/06/bacias-hidrograficas/> >. Acesso em: 19 jul. 2021.



CAPÍTULO 14

AS POTENCIALIDADES DAS ANTOCIANINAS E A SUA UTILIZAÇÃO COMO CORANTE NATURAL

Sheminy de Freitas Zahreddine
Maria de Fátima de Mendes Paixão
Emilly Adorno de Lima Vasconcelos

RESUMO

Antocianinas são pigmentos naturais responsáveis pela coloração de diversas frutas, flores e folhas, com cores que podem variar do vermelho ao azul. Está entre os principais pigmentos do reino vegetal, sendo o segundo mais importante, ficando atrás apenas da clorofila. O objetivo deste trabalho foi identificar a potencialidade de uso da capacidade das antocianinas para mudar a coloração a depender do pH do meio. Para a visualização do uso deste pigmento como corante natural para alimentos foram realizados testes com balas de gelatina e extratos de diferentes matérias-primas (uva roxa, morango, ameixa, jamelão, repolho roxo e berinjela). Além das balas, sua capacidade como corante natural foi testada também com outros ingredientes domésticos, como leite condensado, coco ralado e clara de ovo batida em neve. Para uso como auxiliar no ensino de Química, foram feitos testes com a produção de uma massa de modelar caseira, que além de ser atóxica para crianças poderia ser usada para produzir modelos de orbitais atômicos e contribuir com o aprendizado de Química. Outro material testado com objetivos educacionais foi a obtenção de uma fita indicadora de pH, com extrato de flores e papel reciclado. Os resultados obtidos com a massa de modelar colorida foram bons, sendo o material testado em sala de aula, já o papel de pH requer melhorias em seu processo de reciclagem, quanto ao tipo do papel a ser usado e quanto a obtenção da massa reciclada, o que interferiu nos resultados. Como corante alimentício, os melhores resultados foram obtidos com o extrato do repolho roxo. De uma maneira geral, os testes apresentaram variações quanto aos resultados, porém foi capaz de demonstrar que a capacidade das antocianinas para mudar de coloração frente ao meio (ácido ou básico) pode ser utilizado não só no estudo do pH, mas que também é possível usar esse fato para que elas atuem como corantes naturais para alimentos ou para outros materiais, trazendo assim à tona suas potencialidades e sua capacidade de interligar a variação de cor de acordo com o meio com a indicação do pH e de utilizar essas colorações como corantes para diversos fins.

PALAVRAS-CHAVE: Antocianinas; Corantes Naturais; Indicador de pH; Aprendizado de Química; Pluralidade.

INTRODUÇÃO

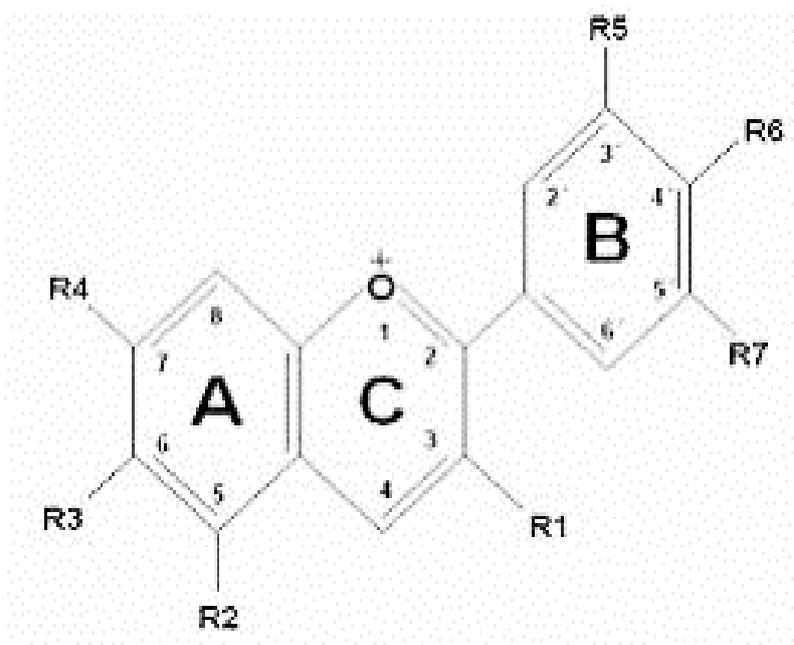
As antocianinas, pertencente a classe dos flavonoides, são pigmentos responsáveis pela capacidade tintorial de várias fontes naturais, com cores que podem variar desde o azul e violeta, até diferentes tons de vermelho e rosa (TERCI E ROSSI, 2002). A palavra antocianina é de origem grega, onde *anthos*, significa uma flor e *kyanos*, azul escuro. Dentre os grupos de pigmentos naturais, é o segundo mais importante, estando apenas atrás da clorofila. Porém, é a

maior classe de pigmentos solúveis em meio aquoso do reino vegetal e são encontradas em grande quantidade nas angiospermas (UCHÔA et al., 2016).

As antocianinas presentes nas plantas são essenciais, desempenhando funções como a proteção à ação da luz, capacidade antioxidante, mecanismo de defesa e função biológica, ou seja, sua capacidade de colorir o vegetal auxilia nos mecanismos reprodutores das plantas, como por exemplo, na polinização e na dispersão de sementes (LOPES et al., 2007). Podem ser encontradas em frutos, flores e folhas, como o repolho roxo, o açaí, a casca da berinjela, ameixa, jamelão, uva, morango, sendo que algumas delas já foram experimentadas como fonte industrial. Um exemplo são os subprodutos das indústrias da uva e do vinho, que já foram testados e empregados na preparação comercial das antocianinas (CONSTANT, STRINGHETA E SANDI, 2002). Souza (2013) demonstrou com seu trabalho que é possível produzir esse pigmento em pó, a partir dos subprodutos da vinificação da uva tinta da variedade Bordô, como as cascas e sementes, evidenciando a utilização desses subprodutos como um ingrediente destinado a alimentos funcionais, devido à presença desse componente bioativo.

Esses pigmentos são estudados e avaliados no mundo todo devido a sua capacidade de coloração natural dos alimentos (LOPES et al., 2007), compreendendo uma forma de dinamizar a utilização dos corantes naturais e secundarizar a adição dos corantes sintéticos. A estrutura básica das antocianinas, que pode ser visualizada na Figura 1, contém quinze carbonos, além de ser policíclica, contendo três anéis aromáticos condensados.

Figura 1. Estrutura básica das antocianinas.



Fonte: LOPES et al., 2007, p.2.



A capacidade dessa estrutura química de se adequar ao meio em que está presente, ou seja, a depender de fatores como a acidez e basicidade, é o fator determinante para o aparecimento de determinada coloração. Em solução aquosa, a antocianina encontra-se numa mistura de diferentes estruturas químicas presentes no meio e que estão em equilíbrio. São elas: o cátion *flavilium*, que possui coloração vermelha, a base anidra quinoildal, que apresenta cor azul, a base carbinol, que é incolor e a chalcona, com coloração incolor ou levemente amarelada (LOPES et al., 2007). Dessa forma, as antocianinas podem apresentar-se como diferentes estruturas, que assumem diferentes colorações.

As antocianinas são pigmentos naturais capazes de promover a coloração de vários tipos de alimentos, podendo ser uma fonte viável na utilização industrial. Porém, é de suma importância além de conhecer e observar dados teóricos, realizar testes para avaliar sua estabilidade, ou seja, saber em quais condições ela se degrada e quais os principais fatores responsáveis por esse processo de degradação.

O artigo em questão teve por objetivo geral avaliar as potencialidades das antocianinas, suas utilizações e limitações, a partir de testes e análises de sua capacidade de colorir naturalmente. Neste sentido, observou-se sua capacidade de emprego como corante natural para alimentos e como auxiliar no aprendizado prático de Química, pela sua habilidade de mudar de coloração frente ao meio em que está inserida, podendo ser utilizada como indicador de pH e, desse modo, facilitar a compreensão do tema e aumentar a motivação dos estudantes para aprender. Além desses fatores, foi observada também a possibilidade de empregar os extratos ricos em antocianinas no cotidiano familiar, através de seu uso na cozinha e de brincadeiras de crianças, como a produção de uma massa de modelar caseira.

Corantes naturais

Sabe-se que a aparência de um produto influencia na decisão de compra e que, inclusive sua coloração, pode torná-lo mais atrativo e favorecer sua aquisição. A utilização de corantes pela indústria alimentícia é um fato comum, pois influencia na aceitação daquele alimento por parte do consumidor (LOPES et al., 2007). Neste sentido, torna-se interessante que no primeiro contato entre o produto alimentício e o consumidor, sua cor seja capaz de proporcionar sinergia com seu sabor, uma característica que pode induzir a aceitação, ou a rejeição, daquele produto (SEGALLA et al., 2015).



Os corantes utilizados nos alimentos são classificados como aditivos, pois são adicionados de forma intencional com o intuito de modificar as características do alimento. Ou seja, os corantes são aditivos que tem o poder de conferir, intensificar ou restaurar a cor dos alimentos para agregar valor e aumentar a sua aceitação pelo consumidor. Entre os principais grupos de corantes estão os naturais, obtidos a partir de fontes vegetais ou animais, os sintéticos, que não podem ser encontrados de forma natural (ZANONI E YAMANAKA, 2016), e o corante caramelo, que juntos formam os três grupos principais de corantes.

Os corantes artificiais ainda são os mais utilizados pela indústria devido às variadas vantagens que oferecem, como a capacidade de uniformizar a coloração obtida, permitir alta estabilidade frente a fatores como pH, oxigênio, luz e temperatura, promover um elevado poder tintorial, oferecer custo relativamente baixo de produção, visto que pequenas quantidades já são suficientes para colorir os alimentos, favorecer a uma baixa contaminação por microrganismos (ZANONI E YAMANAKA, 2016).

No Brasil a legislação permite o uso de onze corantes artificiais: Tartrazina, Amarelo Crepúsculo, Amaranto, Azorrubina, Eritrosina, Ponceau 4R, Vermelho 40, Azul Patente V, Azul Brillhante, Indigotina e Verde Rápido (PRADO E GODOY, 2007). Entretanto, o uso de corantes artificiais está se tornando um assunto polêmico, quando se considera suas possíveis desvantagens, como o seu aspecto toxicológico e o fato de que os consumidores estão buscando, cada vez mais, utilizar produtos mais saudáveis, exigindo que as empresas façam mudanças e considere a importância dada à alimentação para a qualidade de vida.

Estudos tentam demonstrar as reações adversas que o consumo de corantes artificiais pode ocasionar. Segundo Pinheiro e Abrantes (2015), as crianças estão mais susceptíveis às reações adversas causadas pelos corantes artificiais, visto que sua dieta inclui alimentos potencialmente coloridos, como balas, pirulitos. Os autores citados demonstraram ainda que os estudos realizados para identificar a dimensão dos prejuízos causados pelos corantes artificiais ainda precisam de pesquisa e maior análise e que os corantes que mais destacam-se nas alterações humanas de comportamento são o Amaranto, o Ponceau 4R, a Eritrosina e a Tartrazina. Em uma pesquisa ilustrada por Pinheiro e Abrantes (2015), pode-se observar que após a ingestão desse tipo de corante por crianças, houve o aumento da hiperatividade e por conseguinte, o aparecimento de déficit de atenção. Por essas razões, os corantes naturais estão em ascensão, devido a necessidade de substituir parcial ou integralmente a utilização dos corantes artificiais, minimizando a dependência que a indústria alimentícia possui frente a esses aditivos (LOPES et al., 2007).



Corantes naturais são pigmentos extraídos de diferentes fontes naturais e que ao serem adicionados aos alimentos visam o benefício de serem associados com a ideia de não ser prejudicial para a saúde. Porém, possui a desvantagem da instabilidade. As antocianinas são instáveis e podem ser degradadas durante o processamento do alimento, resultando na descoloração e redução do seu poder antioxidante (ALBARICI, VALETA E PESSOA, 2007).

Durante a preparação e processamento dos alimentos, o conteúdo de antocianinas pode decrescer em até 50%, seja durante a lavagem com água devido à sua solubilidade ou pela remoção de porções dos alimentos que sejam ricas em flavonoides (LOPES et al., 2007).

Essa instabilidade é devida a fatores como pH, luz, temperatura, oxigênio. Em pH ácido, a antocianina apresenta-se vermelha, porém, com o aumento do pH e da basicidade do meio, a intensidade da cor vermelha diminui. Em meio básico, a coloração é azul, porém instável. São pigmentos sensíveis ao calor, observando sua degradação e consequente descoloração em temperaturas superiores à ambiente (LOPES et al., 2007).

Assim, o estudo das antocianinas pode contribuir para que seu uso como corante alimentício possa se dar com mais segurança, testando sua capacidade de coloração e transformação em frente a fatores tais como diferentes pH. Para isso, inicialmente, realizou-se a separação das fontes naturais contendo antocianinas que seriam utilizadas como corantes alimentícios, a seguir: casca de berinjela (*Solanum melongena*), casca de ameixa fresca (*Prunus salicina*), jamelão (*Syzygium cumini*), morango (*Fragaria vesca*), casca de uva roxa (*Vitis vinifera*) e repolho roxo (*Brassica oleracea rubra*). Após a separação, obteve-se o corante por meio de extração aquosa. E por último, fez-se os testes com alimentos produzidos de forma doméstica, como balas de gelatina, clara de ovo batida em neve, muito comum na produção de bolo, leite condensado, um dos principais ingredientes dos “docinhos de festa” e coco ralado úmido e seco, utilizado na decoração de bolos, pães e biscoitos. Além desses testes, preparou-se uma massa de modelar caseira colorida adicionada com os extratos obtidos das variações de coloração do repolho roxo.

PAPEL INDICADOR DE pH

Os indicadores de pH ou indicadores ácido-base são substâncias fracamente ácidas ou básicas que apresentam colorações diferentes em função do pH. Diversas frutas, flores e plantas possuem em sua estrutura substâncias capazes de mudar de cor em função do pH, indicando que tais fontes podem agir como indicadores de pH (TERCI E ROSSI, 2002).



A utilização de indicadores de pH é uma prática muito antiga que foi visualizada a partir do século XVII por Robert Boyle, a partir de uma experiência com o extrato de uma flor e apenas a partir do XX, foi que relacionaram a capacidade de mudança de coloração frente ao pH do meio com o grupo de antocianinas.

Existem diferentes maneiras de medir o pH de uma determinada solução em laboratório e uma delas é por meio dos indicadores ácido-base, tanto em soluções como impregnados em fitas de papel (VOIGT, 2019). O papel surgiu inicialmente para propor uma medição de pH grosseira, através de estimativas, onde o essencial era a rapidez do processo, levando a uma pouca receptividade inicial do papel indicador de pH. Ao longo dos anos, o processo de obtenção dos corantes e a impregnação dos papéis com esses extratos permitiu a conquista e alcance do papel universal de pH (MELO, 2012).

A capacidade das antocianinas mudarem de coloração em diferentes pH pelo fato de haver um equilíbrio entre suas variadas estruturas químicas permite afirmar que esse pigmento pode ser utilizado como indicador ácido-base e a partir da sua obtenção através de fontes naturais, embeber o papel e produzir uma fita indicadora de pH. Para realizar de forma prática a produção dessa fita de pH, aliou-se o fato de que esta poderia ser feita a partir de papel reciclável. A reciclagem é uma forma sustentável de reaproveitamento de materiais que até então seriam considerados resíduos e o papel é um produto com uma ampla capacidade de reaproveitar. Reciclando, há a diminuição do volume de resíduos, a redução da poluição por agentes sólidos, além de proporcionar a proteção e preservação do meio ambiente, poupando as árvores, visto que a cada tonelada de papel que é reciclada, vinte árvores são poupadas (SOUZA et al., 2016).

Para tanto, realizou-se inicialmente a separação das fontes naturais que seriam utilizadas para a obtenção do corante, são elas as flores *Alamanda blanchetti*, *Hibiscus* e *Plumbago auriculata*. Em seguida, prosseguiu-se com a extração aquosa ou alcóolica do pigmento, em proporções de 50%/50% e 80%/20% álcool/água ou 100% alcóolica, aliada a produção do papel reciclável, utilizando como matéria-prima jornal, papel de filtro e folha de ofício A4 branca. Após esses procedimentos, foram realizados testes com a fita indicadora de pH com soluções ácidas e básicas.

METODOLOGIA

Para a visualização da antocianina como corante natural, sua obtenção foi feita a partir da extração aquosa do pigmento, a quente e/ou a frio, por maceração utilizando almofariz e pistilo ou por aquecimento. A proporção empregada entre o material sólido (fonte natural) e o solvente foi de 1:3, conforme estudo realizado por Terci e Rossi (2002).

Para a produção da bala, utilizou-se gelatina em pó sem cor e sabor como base para elaboração da bala. O teste de coloração com pigmentos provenientes de antocianinas foi feito a partir da mistura de 6 g de gelatina com 50 mL de água, e posterior adição de gotas do extrato. Para o teste do sabor foi usado 50 mL de suco de alguma fonte natural e, posteriormente, foi feito um aquecimento de 15 a 25 segundos para a sua completa homogeneização.

A realização dos testes de cor e sabor da bala foram feitos de forma separada. Para o teste de cor, após a retirada da gelatina do aquecimento, após sua completa dissolução, acrescentou-se gotas do corante até atingir a coloração desejada. Após esse processo, o líquido foi colocado em forminhas de gelo e levado para geladeira por cerca de 5 minutos. Para o teste de sabor, o líquido contendo a mistura do suco e da gelatina, após aquecimento, foi distribuído igualmente nas forminhas e levado para resfriar por igual período. Para a realização do teste em conjunto de cor e sabor, hidratou-se 6 g de gelatina e misturou-se 50 mL do suco, sendo posteriormente aquecida pelo mesmo período e, após o aquecimento, adicionou-se gotas do corante, até que atingisse a coloração desejada. De forma análoga, dividiu-se o líquido nas forminhas e levou para a geladeira.

Outros testes para utilização das antocianinas como corante alimentício foram realizados com a clara do ovo em neve, o leite condensado e o coco ralado úmido e seco, pois esses ingredientes são muito comuns em preparações domésticas, como fabricação de doces, produção e decoração de bolos e merengues.

Para realização dos testes, misturou-se cada ingrediente (clara de ovo em neve, leite condensado, coco ralado úmido e seco) com certa quantidade de cada corante produzido a partir do extrato aquoso de repolho roxo, nas seguintes colorações: roxa, cor original do extrato; rosa, obtida pelo gotejamento do suco de limão no extrato de repolho, que ao deixar o meio ácido leva ao aparecimento dessa cor; verde, obtida misturando bicarbonato de



sódio ao extrato aquoso até produzir essa coloração, característica do meio básico para o extrato de repolho. Além dessas três possibilidades, obteve-se também a cor azul, resultante da mistura dos extratos obtidos em meio ácido e básico. Outro fator considerado para uso do coco ralado úmido e seco foi sua degradação ao longo dos dias.

Para o preparo da massa de modelar, utilizou-se uma receita base que compreende 140 g de farinha de trigo, 85 g de sal, 1 colher de óleo e 60 mL do extrato obtido do repolho roxo com suas variações de colorações. Misturou-se os ingredientes e amassou bem para obter uma massa boa para modelar. Após a preparação, as massas obtidas foram guardadas em sacos plásticos e colocadas na geladeira com o objetivo de conservá-las.

Para a produção do papel indicador de pH, inicialmente obteve-se o corante a partir de fontes naturais por extração aquosa a frio, utilizando o processo de maceração com almofariz e pistilo, em uma proporção de 10 g de pétalas de flores para 50 mL de água, de acordo com BERNARDINO et al. (s.d.) e também por extração alcóolica, seguindo uma proporção de 3:1, para a relação entre solvente/pétalas, conforme está descrito em Terci e Rossi (2002).

A reciclagem foi obtida com papel usado picado, dissolvido nos extratos das flores e triturado em liquidificador. Após esse processo, a polpa obtida foi disposta em telas com suporte de madeira para retirada da água, possibilitando a conformação do papel reciclado e facilitando a secagem. O papel seco foi utilizado para a confecção da fita indicadora de pH. Posteriormente, realizou-se o teste da fita por imersão ou gotejamento de soluções ácidas e básicas obtidas através de várias misturas usadas no cotidiano.

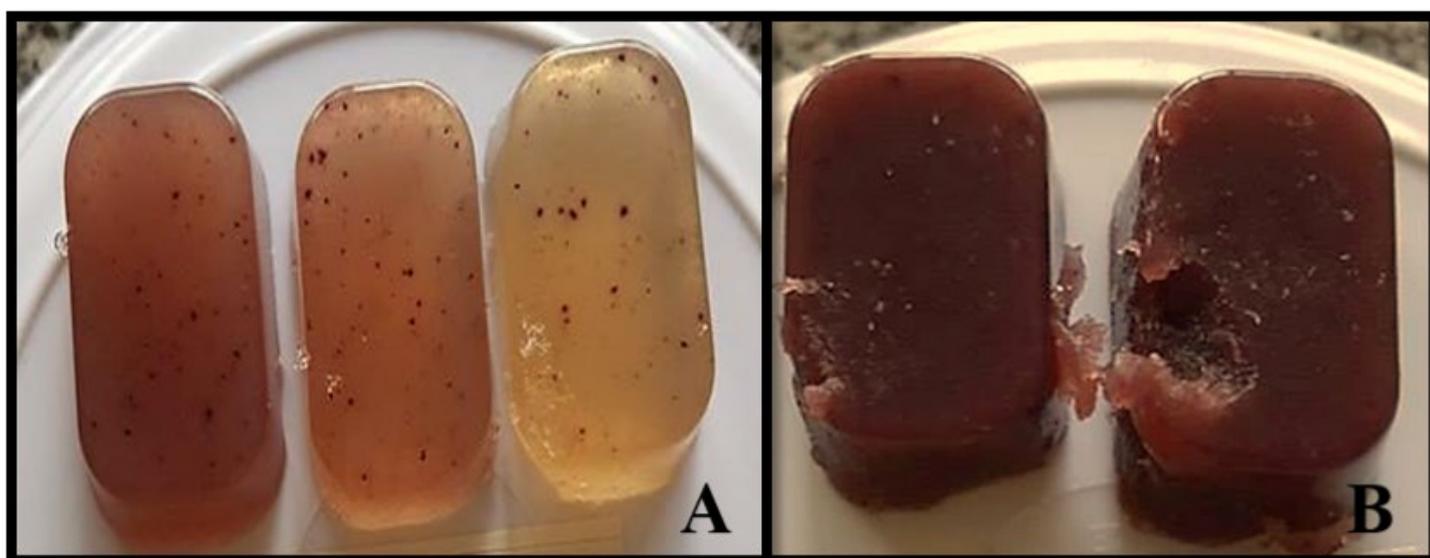
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a utilização como corante natural, foram utilizadas matérias-primas cujas colorações variavam entre roxo e vermelho, ricas em antocianinas. O extrato obtido da casca da berinjela apresenta coloração vermelha e varia sua cor em meio ácido e básico, sendo que no meio ácido apresenta-se vermelho claro e em meio básico, verde. A sua utilização como corante natural para a produção da bala de gelatina não foi satisfatória, pois a coloração não torna-se visível na bala, além de deixar um sabor residual, o que não é favorável. O extrato da casca da ameixa fresca apresentou resultado semelhante ao obtido com a berinjela.

Quanto ao extrato da casca da uva roxa, sua coloração em meio ácido apresenta-se

como um vermelho ruby e em meio básico um vermelho sangria. Para a realização do teste de cor, não se obteve um resultado satisfatório, pois a bala de gelatina não apresentou uma coloração característica da cor da fruta e sim, uma cor semelhante ao barro, caracterizando o vermelho tijolo. Porém, para o teste em conjunto de cor e sabor, o resultado obtido foi bom, pois utilizou-se a polpa e a casca da uva roxa, caracterizando-se como uma bala aceitável no quesito cor. A Figura 2 ilustra o teste de cor e o teste em conjunto de cor e sabor, tendo como matéria-prima a uva roxa.

Figura 2. A) Teste de cor da bala de gelatina; B) Teste de cor e sabor para a uva roxa.



Fonte. A autora (2016).

Quanto à utilização do morango como fonte natural para a produção do corante, seu extrato não obteve sucesso. Para o teste de cor, a coloração da bala de gelatina foi influenciada por pequenos resíduos deixados pela fruta. O teste conjunto para cor e sabor também não forneceu resultado satisfatório, pois durante o processo de aquecimento do suco com a gelatina em pó, perde-se a coloração vermelha característica do morango perde-se e adquire-se uma cor amarronzada. De acordo com Falcão et al. (2007), a temperatura de aquecimento é um fator fundamental para a degradação das antocianinas, ocasionando a sua consequente descoloração. Temperaturas maiores que a temperatura ambiente (25°C) aceleram a reação de degradação desse pigmento (VOIGT, 2019). Por essa razão, deve-se ter atenção ao trabalhar com o processamento dos alimentos, principalmente no que se refere ao processo de aquecimento. Na Figura 3 observa-se o resultado do extrato do morango e das balas de gelatina.

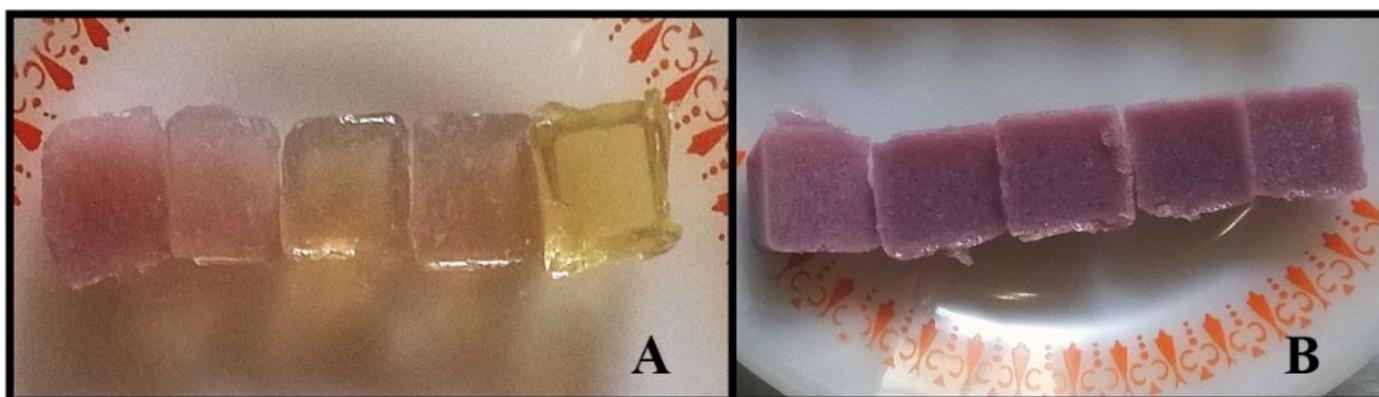
Figura 3. À esquerda: extrato do morango após aquecimento; à direita: extrato do morango no teste de cor.



Fonte: A autora (2016).

O extrato obtido do jamelão, no teste de cor, não obteve um bom resultado, pois a coloração resultante não é intensa. Todavia, para o teste de cor e sabor, utilizando a polpa do jamelão, com o objetivo de dar sabor e colorir a bala, obteve-se um resultado mais satisfatório. À cargo de análise sensorial, algumas pessoas foram convidadas para degustar a bala de gelatina sabor jamelão, e houve divergências de opiniões quanto à sua aceitação, o que nos leva a pensar numa análise mais aprofundada da sua utilização como saborizante. A Figura 4 ilustra a obtenção da bala de gelatina sabor jamelão.

Figura 4. A) Teste de cor com o extrato do jamelão; B) Teste de cor e sabor com o jamelão.



Fonte: A autora (2016).

O extrato de repolho roxo, em diferentes pH, apresentou variação na coloração. Para diferenciar os meios, misturou-se os extratos com substâncias domésticas: para a acidez, misturou-se com limão e para a basicidade, com bicarbonato de sódio. Em meio básico, apresentou-se com uma cor verde e, em meio ácido, rosa e ao misturar o básico com o ácido, a coloração ficou azul. Obteve-se um resultado satisfatório para o teste de cor nas balas de gelatina utilizando o repolho roxo. A Figura 5 demonstra as diferentes colorações que esse extrato pode apresentar.

Figura 5. À esquerda: extrato de repolho roxo nas formas; à direita: teste de cor nas balas de gelatina.



Fonte: A autora (2016).

O teste dos vários extratos de repolho com o leite condensado não apresentou resultados satisfatórios, como pode ser visto na Figura 6. A cor esperada para o leite condensado não fica nítida, pois o ingrediente não assume a coloração do extrato usado, possivelmente influenciado por sua própria cor branca.

Figura 6. Teste do extrato de repolho roxo no leite condensado.



Fonte: A autora (2016).

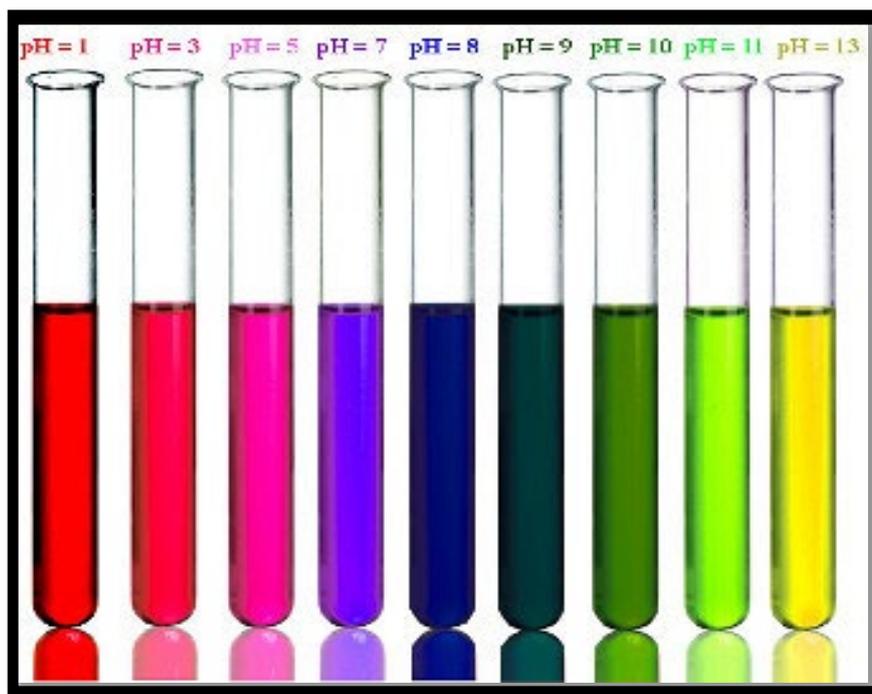
A clara de ovo batida em neve também interferiu na coloração desejada pela adição do extrato de repolho roxo e sua utilização como corante. Observando a Figura 7 é possível visualizar que a adição do extrato vermelho (obtido me meio ácido) resulta em uma mistura azul escura, possivelmente por ação do pH, em torno de 7,9 para a clara do ovo (ALCÂNTARA E CAFÉ, 2012). Observando a Figura 8, para a escala de valores de pH para o extrato de repolho roxo, a cor azul sugere pH entre neutro a levemente básico, indicando interação do pigmento com o meio presente.

Figura 7. Influência do pH da clara do ovo na coloração do extrato.



Fonte: A autora (2016).

Figura 8. Escala de pH do extrato de repolho roxo.



Fonte: Fogaça (s.d.).

Em relação ao coco ralado úmido, utilizando as variações de coloração adquiridas com o extrato de repolho roxo, os resultados obtidos foram satisfatórios, possibilitando a obtenção de duas cores: rosa e verde. Entretanto, é necessário um estudo mais aprofundado para analisar a estabilidade frente a fatores como temperatura e armazenamento, para identificar seu processo de degradação e consequente tempo de prateleira.

O teste dos extratos com o coco ralado seco, permitiu a obtenção da cor rosa esperada (extrato meio ácido), mais intensa que a apresentada pelo coco úmido, porém houve modificação na visualização da cor verde para amarela, relativa ao extrato em meio básico, que que é encontrada em um pH bastante básico (Figura 9). A desvantagem observada, comparando os testes preliminares para deterioração do coco ralado úmido e seco, foi que o coco seco apresentou menor tempo de conservação, degradando-se mais rapidamente.

Figura 9. Resultados obtidos com o extrato do repolho roxo: à direita: com o coco ralado úmido; à esquerda: com o coco ralado seco.



Fonte: A autora (2016).

Os resultados obtidos na produção da massa de modelar foram satisfatórios, permitindo a visualização das cores dos extratos presentes, apresentou boa textura, podendo ser utilizada em sala de aula, para auxílio no estudo das ligações químicas e dos orbitais atômicos. A Figura 10 demonstra as massas e uma de suas possíveis modelagens.

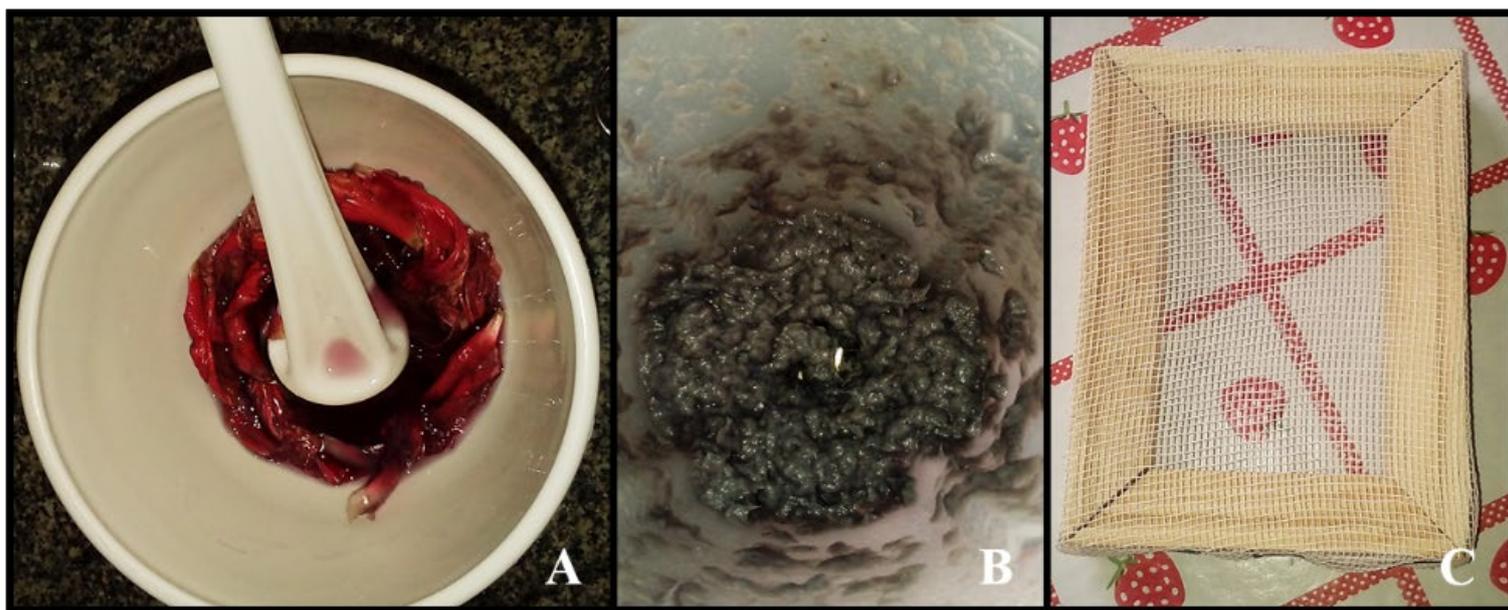
Figura 10. A) Massa de modelar com os extratos de repolho roxo; B) Modelagem da massa.



Fonte: A autora (2016).

A produção da fita indicadora de pH enfrentou o grande desafio que foi o preparo do papel reciclável, devido a proporção extrato/papel. A quantidade de extrato era insuficiente para umidificar totalmente o montante de papel e desse modo permitir uma boa trituração no liquidificador para poder formar uma “polpa” lisa e homogênea que, após seca, formaria uma folha fina e de fácil manuseio. A folha formada era rugosa e apresentava ainda pedaços grandes de papel que não haviam sido triturados. Continuamente, havia também o problema da falta de liga na “polpa”, que ao ser colocada na tela não permanecia unida. Para tanto, em alguns casos e à cargo de teste, utilizou-se uma pequena quantidade de cola, porém sua adição modificou a coloração do papel. Além desses desafios, houve ainda a dificuldade de retirar o papel reciclado da tela, pois ficava preso no molde e após desenformar, a folha apresentava uma característica seca e quebradiça. A Figura 11 mostra o processo de obtenção do extrato, o processo de trituração e a tela adaptada para moldar a folha.

Figura 11. A) Produção de extrato; B) Processo de trituração do papel; C) Tela adaptada.



Fonte: A autora (2018).

Ao decorrer da realização dos testes, outro desafio fez-se presente, o de encontrar um papel que realmente servisse para o preparo do papel reciclado e que fosse satisfatório para a confecção da fita indicadora de pH. Foram feitos testes com jornal, folha de ofício A4 branca e papel de filtro. Inicialmente, escolheu-se o jornal para testar a reciclagem devido ao

seu baixo custo e facilidade de manuseio, por sua maior flexibilidade frente as demais opções. Porém, a coloração escura da massa reciclada de jornal, devido a tinta utilizada para a impressão, interferiu no teste para mudança de coloração devido a mudança de pH frente aos testes com soluções ácidas e básicas.

Apesar dessa desvantagem, o jornal foi a melhor opção dentre todas as três propostas de papel para formação da “polpa” de reciclado, resultando numa melhor trituração no liquidificador. O teste de reciclagem de papel com a folha de ofício A4 não deu bom resultado devido a sua menor flexibilidade em relação ao jornal, dificultando o processo de trituração. A “polpa” formada não era homogênea e mostrava pedaços grandes de papel, influenciando na formação da espessura fina da folha. Os resultados obtidos com o papel de filtro foram semelhantes ao da folha A4. A Figura 12 ilustra o papel reciclado obtido a partir do jornal e do papel de filtro.

Figura 12. À esquerda: papel reciclado com jornal e extrato de *Alamanda blanchetti*; à direita: folha obtida de papel de filtro e extrato de *Hibiscus*.



Fonte: A autora (2018).

No processo de secagem da folha de papel, houve mudança de coloração na maioria dos casos, presente na superfície do papel exposta ao sol e ao ambiente, deixando-o quebradiço. A Figura 13 comprova essa mudança de cor nos papeis obtidos.

Figura 13. Mudança de coloração do papel obtido da *Alamanda blanchetti* após algumas horas.



Fonte: A autora (2018).

Continuamente, foram realizados testes de coloração dos extratos em meio ácido e básico. Para dar acidez ao meio, utilizou-se ácido clorídrico e, para a basicidade, hidróxido de sódio. O resultado foi satisfatório apresentando mudança de coloração, para o meio ácido, que ficava rosa e para o meio básico, verde. Foram realizados também testes de coloração do papel reciclado com soluções do cotidiano, como vinagre e detergente. O meio neutro utilizado foi a água.

Os resultados obtidos com extratos em proporção água/álcool da flor *Alamanda blanchetti* mostraram que não houve mudança de coloração do papel indicador de pH feito com jornal (extrato 50%/50%) e com papel de filtro (extrato 50%/50%) acrescido de cola, porém para o obtido a partir da folha de ofício (extrato alcóolico), houve uma pequena perda da cor verde presente no papel com a aplicação do vinagre.

Para o extrato de *Hibiscus*, houve mudança de coloração utilizando as três matérias-primas de papel: com o jornal (extrato 50%/50%), houve mudança de coloração no papel, ficando levemente rosa com a aplicação do vinagre e levemente verde nas extremidades com o detergente; com o papel de filtro (extrato 50%/50%), com o vinagre apresentou coloração rósea e com o detergente, esverdeado; com a folha de ofício A4 realizou os testes com dois tipos de extração: na extração 80%/20%, houve também mudança de coloração nos meios ácidos

e básicos com as colorações semelhantes aos anteriores e na extração alcóolica com a presença da cola, houve mudança de coloração apenas no vinagre, onde o papel ficou rosa.

Para a espécie *Plumbago auriculata*, utilizando jornal e extrato aquoso, não se observou mudança de coloração com a adição do vinagre e detergente. Em geral, dentre os extratos das flores testadas, a que apresentou o melhor resultado foi a *Hibiscus*, que podem ser visualizados na Figura 14.

Figura 14. Resultados obtidos para o Hibiscus.



Fonte: A autora (2018).

CONCLUSÃO

As antocianinas são pigmentos que podem ser utilizados como corantes naturais, porém deve haver um estudo mais aprofundado sobre sua estabilidade, visto que na indústria alimentícia o processamento de alimentos pode envolver etapas que favoreçam a sua degradação e consequente descoloração, como, por exemplo, o aquecimento. Percebe-se ainda que os resultados obtidos na produção da bala de gelatina, no geral, foram satisfatórios,



principalmente para o teste em conjunto de cor e sabor. Todavia, seria necessário a realização de mais testes e de uma forma melhor de concentração desse corante para ser utilizado no teste de cor.

Para ingredientes como o leite condensado e a clara de ovo batida em neve percebe-se que há a necessidade de realizar mais testes para determinar os fatores que influenciam na coloração deles junto com os extratos. O coco ralado úmido e seco apresenta-se com resultados satisfatórios, devendo analisar mais a questão da estabilidade e degradação desse pigmento. A massa de modelar demonstra resultados satisfatórios, principalmente no quesito coloração e conservação.

Quanto a produção da fita indicadora de pH, percebe-se que as flores apresentam diferentes resultados para diferentes meios em variadas situações, além de precisar de um ajuste quanto ao processo de reciclagem do papel como, por exemplo, a proporção utilizada de extrato e material sólido, uma forma de tornar a “polpa” mais unida e uniforme e desse jeito originar uma folha fina de papel.

Dessa forma, conclui-se que as antocianinas podem ser utilizadas em diversos âmbitos, desde a área alimentícia até o estudo e aprendizagem de Química, necessitando de um estudo mais aprofundado para permitir seu emprego com segurança e estabilidade.

REFERÊNCIAS

ALBARICI, T.R.; VALETA, A.C.; PESSOA, J.D.C. **Efeito da Temperatura nas Antocianinas do Açaí**. Embrapa, 2007. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPDIA-2009-09/11036/1/CT86_2007.pdf>. Acesso em: 16 de Outubro de 2021.

ALCÂNTARA, J.B.; CAFÉ, M.B. **Qualidade Físico-Química de Ovos Comerciais: Avaliação e Manutenção da Qualidade**. Universidade Federal de Goiás, 2012. Disponível em: <https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/67/o/SEMINARIO_2_juliana.pdf>. Acesso em: 29 de Outubro de 2021.

BERNARDINO, A.M.R.; PEREIRA, A.S.; ARARIPE, D.R.; SOUZA, N.A.; AZEVEDO, R.V.D. **Antocianinas** – Papel Indicador de pH e Estudo da Estabilidade da Solução de Repolho Roxo. Disponível em: <<http://www.s bq.org.br/ranteriores/23/resumos/0256/>>. Acesso em: 28 de Outubro de 2021.

CONSTANT, P.B.L.; STRINGHETA, P.C.; SANDI, D. **Corantes Alimentícios**. Curitiba, v.20, n.2, p. 203-220, jul./dez., 2002. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/alimentos/article/view/1248/1048>>. Acesso em: 20 de Outubro de 2021.

FALCÃO, A.P.; CHAVES, E.S.; KUSKOSKI, E.M.; FETT, R.; FALCÃO, L.D.; BORDIGNON-LUIZ, M.T. **Índice de polifenóis, antocianinas totais e atividade antioxidante de um sistema modelo de geleia de uvas**. 2007. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cta/a/5FTg38SJQrHvqc9PyFgDNKQ/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 16 de Outubro de 2021.

FOGAÇA, J.R.V. **Indicador ácido-base com repolho roxo**. S.d. Disponível em: <<https://www.manualdaquimica.com/experimentos-quimica/indicador-acido-base-com-repolho-roxo.htm>>. Acesso em: 29 de Outubro de 2021.

LOPES, T.J.; XAVIER, M.F.; QUADRI, M.G.N.; QUADRI, M.B. **Antocianinas: uma breve revisão das características estruturais e da estabilidade**. Revista Brasileira Agrociência, v.13, nº 3, 2007. Disponível em: <<file:///C:/Users/User/Downloads/1375-1898-1-PB.pdf>>. Acesso em: 14 de Outubro de 2021.

MELO, M.F.S. **Utilização de Extratos Naturais na Produção de Papel Indicador Ácido-Base como Ferramenta para Aulas Práticas de Química Básica**. Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2012. Disponível em: <<file:///C:/Users/User/Downloads/MARIA%20DE%20F%20C%81TIMA%20SILVA%20MEL%20O%20-%20TCC%20QU%20C%8DMICA%202012.pdf>>. Acesso em: 14 de Outubro de 2021.

PINHEIRO, M.C.O; ABRANTES, S.M.P. **Determinação dos Corantes Artificiais Presentes em Balas Consumidas por Crianças com Idade entre 3 e 9 anos**. Revista Analytica, FIOCRUZ, 2015. Disponível em: <https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/icict/12341/2/Analytica_13_10-23.pdf>. Acesso em: 15 de Outubro de 2021.

PRADO, M.A.; GODOY, H.T. **Teores de Corantes Artificiais em Alimentos Determinados por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência**. Química Nova, v.30, nº 2, 2007. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/Qs64wYPPg3PyQHnVR6j8TVd/?lang=pt&format=pdf>>. Acesso em: 16 de Outubro de 2021.

SEGALLA, A.N.; VIEIRA, L.F.A.; TEIXEIRA, J.L.S.; SILVA, M.E.G.; BONNAS, D.S.; ALVES, L.A.A.S. **Importância da cor para aceitabilidade e aproveitamento dos alimentos**. 2015. Disponível em: <https://iftm.edu.br/uberlandia/eventos/semana/uploads/2015/87_corrigido.pdf>. Acesso em: 15 de Outubro de 2021.

SOUZA, V.B. **Aproveitamento dos subprodutos de vinificação da uva Bordô (*Vitis labrusca*) para obtenção de pigmentos com propriedades funcionais**. Universidade de São Paulo, 2013. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/74/74132/tde-19042013-084817/publico/ME7487031COR.pdf>>. Acesso em: 27 de Outubro de 2021.

SOUZA, D.C.G; MATOS, L.L.; ARAUJO, M.K.S.; LIMA, E.V. **A Importância da Reciclagem do Papel na Melhoria da Qualidade do Meio Ambiente**. João Pessoa, 2016. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/tn_sto_234_366_30516.pdf>. Acesso em: 14 de Outubro de 2021.

TERCI, D.B.L.; ROSSI, A.V. **Indicadores naturais de pH: usar papel ou solução?** Química Nova, v.25, n.4, p.684-688, 2002. Disponível em: <



<https://www.scielo.br/j/qn/a/TnTMMbLD9gbm8CHGGs9PBGx/?format=pdf&lang=pt>.
Acesso em: 21 de Outubro de 2021.

UCHÔA, V.T.; FILHO, R.S.M.C.; LIMA, A.M.M.; ASSIS, J.B. **Utilização de plantas ornamentais como novos indicadores naturais ácido-base no ensino de química.** Universidade Estadual do Piauí, v.2, 2016. Disponível em:<<file:///C:/Users/User/Downloads/3869-12159-1-PB.pdf>>. Acesso em: 20 de Outubro de 2021.

VOIGT, C.L. **Atividades de Ensino e de Pesquisa em Química 2.** Paraná, Atena Editora, 2019.

ZANONI, M.V.B.; YAMANAKA, H. **Corantes:** Caracterização Química, Toxicológica, Métodos de Detecção e Tratamento. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2016. Disponível em:<<https://wordpress.ft.unicamp.br/laeg/wp-content/uploads/sites/33/2017/10/Corantes.pdf>>. Acesso em: 15 de Outubro de 2021.

CAPÍTULO 15

SÍNTESE DE FOLATOS TERAPÊUTICOS PARA O TRATAMENTO DO CÂNCER E DA sars-cov-2

DOI: 10.47402/ed.ep.c202292215974

Diego Luan Bertuzzi
Gabriel Perli
Ana Paula Barth

RESUMO

Os folatos, também conhecidos por vitaminas do complexo B9, atuam como doadores de unidades de carbonos em processos biológicos extremamente importantes, relacionados com o crescimento e a manutenção do organismo. O ácido fólico é o principal representante dos folatos, sendo este um composto oxidado muito utilizado no enriquecimento de alimentos, complexos vitamínicos e meios de cultura. Nas últimas décadas, os folatos e seus análogos vem sendo objetos de estudo de inúmeras pesquisas multidisciplinares com muitas oportunidades para a pesquisa e inovação. Por exemplo, os folatos estão relacionados com uma classe de agentes quimioterápicos amplamente utilizados em tratamentos de combate ao câncer, denominados de antifolatos. Entretanto, os efeitos colaterais graves podem acabar limitando a tolerância dos pacientes a esses compostos. Além disso, no início da década de 90, descobriu-se que o ácido fólico e seus derivados poderiam atuar como grupos direcionadores de fármacos ou agentes de imagem para as células cancerígenas. Foi demonstrado que células cancerígenas malignas de origem epitelial apresentavam elevada expressão da proteína receptora de folatos Fr α , a qual se liga ao ácido fólico com elevada afinidade e seletividade para realizar o seu transporte fisiológico. Combinando estas características com a perda da polaridade das células epiteliais após o processo de malignização, viu-se nesse receptor um alvo potencial para o direcionamento de fármacos ou agentes de imagem conjugados ao ácido fólico para as células cancerígenas, objetivando diminuir os efeitos colaterais provocados pela quimioterapia convencional e facilitar diagnósticos do câncer. Mais recentemente foi descoberto que essa classe de compostos é imprescindível para as células infectadas pelo SARS-CoV-2, o que possibilita o planejamento de folatos terapêuticos para combater o novo coronavírus-2 de forma eficiente e segura. Apesar dessas diversas aplicações promissoras, as etapas de síntese e de purificação dos folatos terapêuticos podem ser desafiadoras. Esses compostos geralmente possuem baixa processabilidade e também existe a possibilidade de formação de isômeros com diferentes comportamentos *in vivo*. Nesse capítulo será abordado o metabolismo dos folatos nas células saudáveis, relações com o metabolismo das células cancerígenas e das células infectadas pelo novo coronavírus-2. Além disso, serão apresentadas as principais metodologias de síntese dos folatos terapêuticos

PALAVRAS-CHAVE: FOLATOS; CÂNCER; SARS-COV-2; COVID-19; FOLATOS TERAPÊUTICOS;

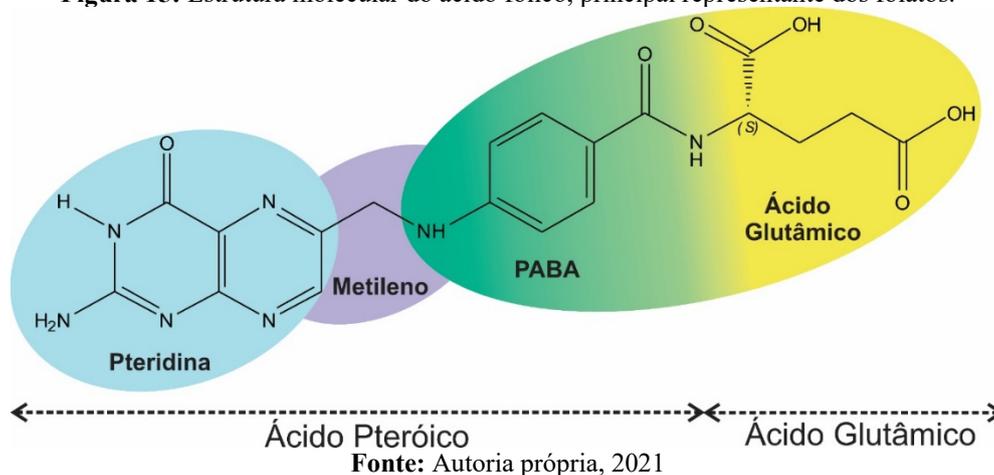
INTRODUÇÃO AOS FOLATOS

As vitaminas do complexo B9, também conhecidas por folatos, atuam como doadores de unidades de carbono em processos biológicos extremamente importantes, relacionados com o crescimento e a manutenção celular dos organismos (BAILEY; GREGORY, 1999). Tais

processos incluem biossínteses, manutenção do estado redox e regulação da epigenética via silenciamento ou ativação da expressão gênica (LOCASALE, 2013). O metabolismo desses compostos é tão relevante que a ingestão dos mesmos em quantidades inferiores a 400 µg/dia para humanos adultos (BAILEY; GREGORY, 1999) ou quaisquer anomalias no metabolismo de transferência de unidades de carbono, podem acarretar em diversas doenças; como defeitos no tubo neural fetal, doenças cardiovasculares e até mesmo câncer (BLOM; SMULDERS, 2011).

O principal representante dos folatos é o ácido fólico, cuja estrutura é mostrada na Figura 1. O ácido fólico é um derivado sintético, oxidado, bastante estável e muito utilizado em complexos vitamínicos, no enriquecimento de alimentos e meios de cultura (BAILEY, 2009; STANKOVA; LAWRENCE; ROZEN, 2008). Na estrutura molecular dos folatos, encontramos o ácido pteróico ligado a um ou mais resíduos de L-glutamato. O ácido pteróico por sua vez é formado pelo anel pteridina ligado ao ácido *p*-aminobenzoico (PABA), através de um grupo metileno. O grupo ácido carboxílico do PABA é então acoplado ao resíduo de L-glutamato, formando a base estrutural dos folatos (BAILEY, 2009). Os demais folatos possuem estrutura molecular muito similar ao ácido fólico, nos quais a adição de unidades de carbono ao anel pteridina é a principal diferença (FINKELSTEIN, 1990).

Figura 15: Estrutura molecular do ácido fólico, principal representante dos folatos.



Os humanos possuem capacidade de sintetizar os três componentes básicos que formam os folatos, entretanto não possuem a enzima necessária para acoplar a pteridina ao PABA. Deste modo, os folatos são adquiridos exclusivamente por meio da alimentação, principalmente de vegetais verdes folhosos, frutas e legumes (BAILEY, 2009; STANKOVA; LAWRENCE; ROZEN, 2008). Em alimentos, diversos folatos podem ser encontrados e geralmente estão na



forma de poliglutamatos, sendo o 5-metil tetrahydrofolato o mais comum (BAILEY, 2009; STANKOVA; LAWRENCE; ROZEN, 2008).

Os folatos são moléculas altamente hidrofílicas que, em pH fisiológico, se apresentam na forma de ânions, em decorrência da ionização dos grupos ácidos carboxílicos. Deste modo, o transporte destas moléculas para o meio intracelular, onde desempenham suas funções metabólicas, não ocorre por difusão passiva e necessita de transportadores altamente específicos, os quais atuam desde a absorção destas moléculas no intestino até o destino final.

Existem três vias de transporte para os folatos, os quais envolvem os transportadores de folatos reduzidos (do Inglês, *reduced folate carrier* - RFC), receptores de folatos (do Inglês, *folate receptors* - Fr) e transportadores de folatos acoplado a prótons (do Inglês, *proton-coupled folate transporter* - PCFT).

MECANISMOS DE TRANSPORTE INTRACELULAR DOS FOLATOS

O RFC está presente em quase todas as células, sendo a principal via de transporte dos folatos reduzidos em tecidos com pH fisiológico. É uma glicoproteína que transporta os folatos por difusão facilitada, cuja força motriz é proveniente do gradiente eletroquímico (ZHAO; DIOP-BOVE; VISENTIN; GOLDMAN, 2011). O RFC possui elevada afinidade por folatos reduzidos e pelo antifolato metotrexato com K_m entre 1 - 10 μ M e baixa afinidade pelo ácido fólico com K_m entre 100 - 200 μ M. A capacidade da RFC em se ligar aos folatos é cerca de 100 vezes maior do que a quantidade de folatos disponível no plasma sanguíneo (ZHAO; DIOP-BOVE; VISENTIN; GOLDMAN, 2011).

O transportador de folatos acoplado a próton (PCFT) foi descoberto em 2006, ele atua principalmente na absorção intestinal de folatos e no transporte de folatos para o líquido cefalorraquidiano via plexo coroide (QIU; JANSEN; SAKARIS; MIN *et al.*, 2006). O PCFT é uma glicoproteína transmembrana, que também transporta os folatos por difusão facilitada, porém a sua força motriz é o gradiente de pH transmembrana. Conseqüentemente, a afinidade por folatos é modulada pelo pH do meio, a qual é máxima em ambientes mais ácidos, como na membrana apical do intestino delgado onde é frequentemente encontrado. A expressão deste transportador também é alta no rim, fígado, placenta e baço, enquanto que no cérebro, testículos e pulmão a sua expressão é baixa (ZHAO; DIOP-BOVE; VISENTIN; GOLDMAN, 2011). O PCFT possui elevada afinidade pelo ácido fólico e também pelos folatos reduzidos, com K_M de aproximadamente 1,5 μ M em pH 5,5. Também possui elevada afinidade pelos antifolatos, como o pemetrexede (K_M entre 0,2 - 0,8 μ M) e PT523 ($K_M > 100 \mu$ M). Uma variedade de



compostos aniônicos são inibidores fracos do PCFT, os quais podem ter alguma relação com deficiências na ingestão de folatos (THWAITES; ANDERSON, 2007; ZHAO; DIOP-BOVE; VISENTIN; GOLDMAN, 2011). Acredita-se que o PCFT também atua no transporte de folatos realizado pela Fr α , cuja função seria transportar os folatos do endossomo acidificado para o citoplasma. Porém, esse processo não é totalmente depende do PCFT (THWAITES; ANDERSON, 2007; ZHAO; DIOP-BOVE; VISENTIN; GOLDMAN, 2011).

A família dos receptores de folatos é composta por quatro isoformas bem conhecidas; a Fr α , Fr β , Fr γ e Fr δ . Estes receptores compartilham de uma estrutura primária altamente conservada, com cerca de 71 a 79% de acerto. A Fr α , Fr β e Fr γ são glicoproteínas de membrana com elevado teor de cisteína, que atuam no transporte dos folatos via endocitose. Elas permanecem ancoradas na membrana plasmática via glicosil fosfatidilinositol. Já a Fr δ é uma exceção na família dos receptores, uma vez que é uma proteína de secreção sem a capacidade de se ligar aos folatos (ANTONY, 1996; CHEN, C.; KE, J.; ZHOU, X. E.; YI, W. *et al.*, 2013; HENDERSON, 1990; KELEMEN, 2006; ZHAO; DIOP-BOVE; VISENTIN; GOLDMAN, 2011).

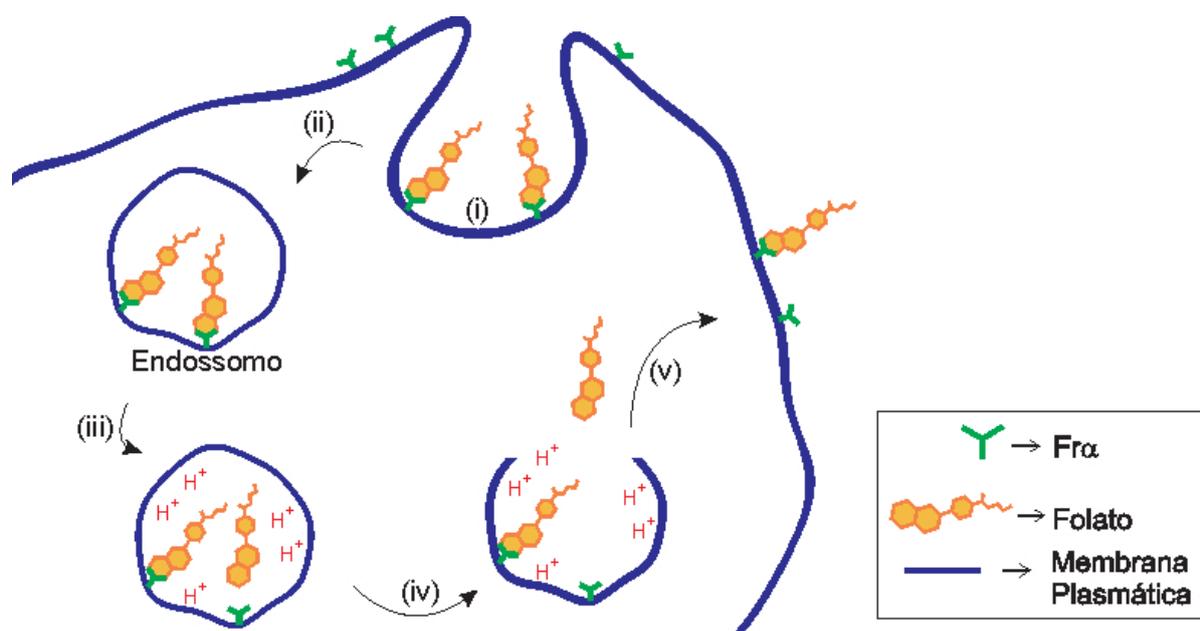
Apesar da similaridade, as isoformas são encontradas em diferentes locais. A Fr α é expressa em células da placenta e hematopoiéticas, a Fr β em células hematopoiéticas e a Fr γ em tecidos epiteliais de diversos locais como a placenta, rins, bexiga, testículos, plexos coroide, pulmões e intestino. Vale ressaltar que em células saudáveis, a Fr α é encontrada em pequenas quantidades e somente na superfície apical das células. A superfície apical é aquela que está voltada para o lúmen, fazendo com que tais receptores não fiquem em contato direto com os folatos em circulação no sangue, atuando na absorção e reabsorção dos folatos de uma cavidade (ou lúmen) para o ambiente interno (ANTONY, 1996; KELEMEN, 2006; ZHAO; DIOP-BOVE; VISENTIN; GOLDMAN, 2011).

A Fr α é a isoforma mais estudada devido à sua relação com determinados tipos de câncer. Esta isoforma possui elevada afinidade pelo ácido fólico ($K_d < 1$ nM) e por folatos reduzidos como o 5-metil tetrahydrofolato (K_d entre 1 - 10 nM), embora a afinidade pelo ácido fólico é de até 10 vezes maior do que para qualquer outro folato reduzido (ANTONY, 1996; HENDERSON, 1990; KELEMEN, 2006).

O transporte de folatos para o meio intracelular realizado pela Fr α ocorre via formação de um endossomo, conforme a Figura 2. Primeiramente, o ácido fólico presente no meio extracelular liga-se com a Fr α ancorada na membrana plasmática da célula (i). Em seguida,

forma-se uma invaginação na membrana plasmática circundante ao complexo proteína-ligante, até completar a formação de um endossomo (ii). O endossomo migra através dos microtubulos no citoplasma até o compartimento endossomal perinuclear, onde é acidificado até o pH próximo de 5,0 (iii). Conseqüentemente, ocorre uma mudança na conformação da Fr α que então se dissocia do folato e libera-o no meio intracelular (iv). Por fim, o endossomo volta a superfície celular onde é regenerado (v) (ANTONY, 1996; ZHAO; DIOP-BOVE; VISENTIN; GOLDMAN, 2011).

Figura 16 - Mecanismo de transporte dos folatos via Fr α .



Fonte: Autoria própria, 2021

No meio intracelular, o folato irá participar de uma série de reações químicas que em conjunto compõem o metabolismo dos folatos (ou ciclo dos folatos). Outras vias metabólicas extremamente importantes são dependentes do metabolismo dos folatos, como o metabolismo da metionina, glutatona e síntese de nucleotídeos. Na sequência, serão apresentadas as principais reações do metabolismo dos folatos.

METABOLISMO DOS FOLATOS

O metabolismo dos folatos inicia-se após o transporte do folato para o meio intracelular, através dos transportadores anteriormente citados. Na Figura 3 são mostradas as principais reações metabólicas do ciclo dos folatos iniciando com o ácido fólico, porém os mesmos conceitos podem ser aplicados aos demais folatos reduzidos.

Após a internalização, o ácido fólico sofre sucessivas reduções, catalisadas pela enzima dihidrofolato redutase (DHFR), até formar o tetrahidrofolato (THF). O THF é a base estrutural



para formar os demais compostos do ciclo dos folatos (BAILEY; GREGORY, 1999; FINKELSTEIN, 1990; LOCASALE, 2013).

O 5,10-metileno tetrahydrofolato (Metileno-THF) é formado a partir do THF, com ação da enzima serina hidroximetil transferase (SHMT). O Metileno-THF participa da formação do desoxitimidilato monofosfato (dTMP) a partir do desoxiuridilato monofosfato (dUMP). Esta reação é a única fonte de dTMP e por isso é o passo limitante na síntese do DNA nos mamíferos. Baixa ingestão de folatos ou alguma anomalia na síntese de dTMP pode levar à incorporação errônea de uracila ao DNA, alterando a estabilidade da dupla hélice e propiciando a ocorrência de mutações, que podem resultar em câncer (BAILEY; GREGORY, 1999; FINKELSTEIN, 1990; LOCASALE, 2013).

O THF também pode ser transformado 10-formil tetrahydrofolato (F-THF), com atuação da enzima 10-Formil Tetrahydrofolato Sintetase (FTHF). O F-THF é um substrato requerido em dois passos da síntese dos nucleotídeos derivados das purinas, para formar adenosina monofostato (AMP) e guanosina monofosfato (GMP).

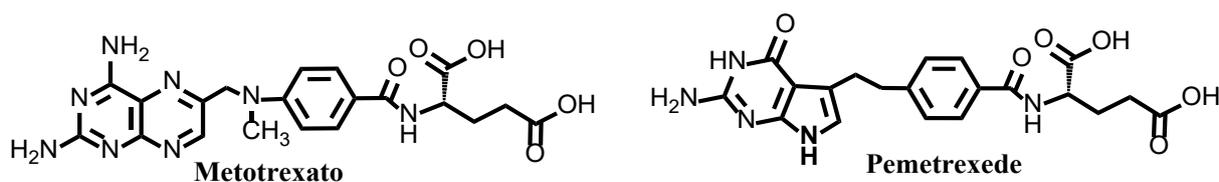
O Metileno-THF também pode ser reduzido irreversivelmente ao 5-Metil Tetrahydrofolato (Me-THF), por ação da enzima Metileno Tetrahydrofolato Redutase (MTHFR). O Me-THF doa um grupo metila para a homocisteína via vitamina B12, em uma reação catalisada pela metionina sintetase (MTS) cujo objetivo é gerar (ou regenerar) a metionina (BAILEY; GREGORY, 1999; FINKELSTEIN, 1990; LOCASALE, 2013). A metionina é um aminoácido essencial, utilizado na síntese de proteínas e da S-Adenosil Metionina (SAM). A SAM atua como doadora de unidade de carbono em mais de cem processos, como na epigenética, síntese de poliaminas, como a spermina e spermidina atuantes na divisão e proliferação celular e na síntese da fosfatidilcolina; o componente majoritário da membrana celular (FINKELSTEIN, 1990). A via metabólica de trans-sulfuração é dependente do ciclo da metionina. Essa via é responsável pela formação da taurina e da glutathione (FINKELSTEIN, 1990; LOCASALE, 2013). A glutathione é um tripeptídeo formado por resíduos de cisteína, glicina e glutamato. É considerada um dos metabolitos mais abundantes nas células, cuja função é manter a relação NADPH e NADP⁺ adequada e reduzir espécies reativas do oxigênio (LOCASALE, 2013).

RELAÇÃO DOS FOLATOS COM O CÂNCER

O metabolismo dos folatos está estritamente relacionado com a proliferação e a manutenção celular, de modo que a ingestão de quantidades não suficientes dos folatos ou quaisquer anomalias no metabolismo podem resultar em uma série de doenças, como doenças vasculares, defeitos no tubo neural, Alzheimer e inclusive em câncer. Apesar de ser considerado uma possível causa de câncer, o metabolismo dos folatos também possui relação com uma classe de agentes quimioterápicos amplamente utilizados em tratamentos de combate ao câncer, denominados de antifolatos (GONEN; ASSARAF, 2012; HAGNER; JOERGER, 2010). Além disso, o metabolismo dos folatos também possui relação com um mecanismo de direcionamento específico de agentes quimioterápicos ou de imagem para as células cancerígenas, via proteína Fr α (CHEN, C.; KE, J.; ZHOU, X. E.; YI, W. *et al.*, 2013; KELEMEN, 2006; LEAMON; REDDY, 2004; LU; LOW, 2002).

Os antifolatos são compostos estruturalmente análogos aos folatos, que atuam como inibidores enzimáticos (ou antagonistas) de enzimas chaves do metabolismo dos folatos, impedindo que as células cancerígenas se multipliquem ocasionando a apoptose. O primeiro antifolato foi sintetizado no final da década de 40 (FARBER; DIAMOND, 1948), atualmente eles são amplamente utilizados para diversos tipos de câncer, como a leucemia linfóide aguda, câncer de mama, câncer de bexiga e linfomas (CHABNER; ROBERTS, 2005; GONEN; ASSARAF, 2012); sendo o metotrexato e o pemetrexede os antifolatos mais conhecidos (Figura 4) (GONEN; ASSARAF, 2012).

Figura 18: Estrutura molecular dos antifolatos mais conhecidos.



Fonte: A autoria própria, 2021

Entre as enzimas inibidas pelos antifolatos estão a DHFR e TS. Também podem ser inibidas enzimas dependentes do ciclo dos folatos, como a GARFT e AICARFT atuantes na biossíntese das purinas (CHABNER; ROBERTS, 2005; GONEN; ASSARAF, 2012; HAGNER; JOERGER, 2010).

Os antifolatos são transportados para o meio intracelular predominantemente via RFC. Como este transportador é encontrado tanto em células saudáveis quanto em células cancerígenas, efeitos colaterais são frequentemente observados; diminuindo assim a tolerância



dos antifolatos em tratamentos anticâncer. Além disso, as células cancerígenas podem desenvolver resistência aos antifolatos através de danos na absorção e poliglutamação, aumento do transporte para o meio extracelular e mutação de alvos celulares (CHABNER; ROBERTS, 2005; GONEN; ASSARAF, 2012; HAGNER; JOERGER, 2010). Sendo assim, o PCFT vem sendo utilizado para o desenvolvimento de antifolatos mais específicos contra o câncer, explorando a maior atividade destes transportadores em ambientes mais ácidos como em massas tumorais. Isso permite o desenvolvimento de novos antifolatos mais específicos para o PCFT, diminuindo os efeitos colaterais dos antifolatos convencionais utilizados no combate ao câncer (DESMOULIN; HOU; GANGJEE; MATHERLY, 2012).

DIRECIONAMENTO ESPECÍFICO DE FOLATOS TERAPÊUTICOS

No início da década de 90, foi demonstrado que células cancerígenas malignas de origem epitelial apresentavam elevada expressão da proteína Fr α . Sendo assim, viu-se neste receptor um alvo promissor para o direcionamento específico de agentes quimioterápicos ou de imagem para as células cancerígenas, diminuindo os efeitos colaterais encontrados na quimioterapia convencional e facilitando os diagnósticos de imagem (CHABNER; ROBERTS, 2005).

O motivo da elevada expressão da Fr α continua desconhecido, mas existem evidências de que possa estar relacionada com a necessidade de suprimento de folatos ou com a atuação do receptor na ativação de sinais associados ao crescimento tumoral (LEAMON; REDDY, 2004; LEDERMANN; CANEVARI; THIGPEN, 2015; LU; LOW, 2002).

Conforme mencionado anteriormente, a Fr α está localizada na membrana apical de diversas células epiteliais saudáveis e com a exceção de alguns poucos tecidos (rim, placenta e plexo coróide) é encontrada apenas em pequenas quantidades. Já em células cancerígenas malignas de origem epitelial, particularmente presentes no ovário, útero, endométrio, cérebro, rins, pescoço e mesotélio, a expressão da Fr α é muito maior. A diferença de expressão da Fr α em tecidos malignos e em tecidos saudáveis de mesma origem é surpreendente, pois pode chegar a ser até cem vezes maior nas células cancerígenas. Além disso, a expressão pode aumentar com o grau histológico do tecido, com estágios mais avançados de câncer e em casos de resistência a quimioterapia convencional (LEAMON; REDDY, 2004; LEDERMANN; CANEVARI; THIGPEN, 2015; LU; LOW, 2002).

A transformação de uma célula epitelial saudável em uma célula cancerígena maligna (malignização) é acompanhada do desaparecimento da polaridade das células em questão.



Como consequência, a Fr α não é mais encontrada voltada apenas para a cavidade do órgão e passa a estar voltada para as moléculas que estão em circulação na corrente sanguínea (KELEMEN, 2006).

A combinação da elevada afinidade na ligação da Fr α -ácido fólico com sua elevada expressão em células malignas de origem epitelial e o desaparecimento da polaridade das células epiteliais após a malignização, faz com que a Fr α seja um alvo potencial no combate ao câncer (LEAMON; REDDY, 2004; LEDERMANN; CANEVARI; THIGPEN, 2015; LU; LOW, 2002).

Para que os agentes terapêuticos ou de imagem sejam direcionadas especificamente para as células cancerígenas, eles devem estar ligados ao ácido fólico. Frequentemente, o composto resultante é chamado de folato conjugado. O folato conjugado é transportado para o meio intracelular seguindo o mesmo mecanismo do ácido fólico livre, via formação de um endossomo. A eficiência na liberação dos folatos conjugados no meio intracelular está entre 15 e 25%, o restante aparentemente volta à superfície celular ao passo que o receptor é regenerado. Estudos mostram que a quantidade de folatos conjugados internalizados é proporcional a quantidade de Fr α expressa pela célula e que uma célula cancerígena com elevada expressão de Fr α pode internalizar aproximadamente 2×10^5 moléculas de folatos conjugados por hora (LU; LOW, 2002).

Apesar de a maioria dos tecidos malignos apresentar um padrão consistente na expressão da Fr α , o nível da expressão pode variar e isso poderia de fato limitar o uso deste receptor como alvo específico (TRAN; SHATNAWI; ZHENG; KELLEY *et al.*, 2005). Entretanto, um estudo demonstrou que a expressão da Fr α pode ser estimulada seletivamente em células malignas onde o receptor já estava presente, através de pequenas quantidades ($< 50 \text{ nm.L}^{-1}$) de dexametasona, um agonista glicocorticoide (TRAN; SHATNAWI; ZHENG; KELLEY *et al.*, 2005). Além disso, a estimulação pode ser potencializada utilizando em conjunto um inibidor da histona desacetilase. Tal descoberta possibilita o aumento na eficácia de várias aplicações terapêuticas e de diagnóstico dependentes da expressão da Fr α (TRAN; SHATNAWI; ZHENG; KELLEY *et al.*, 2005).

Atualmente, diversos folatos conjugados já foram conjugados ao ácido fólico, tais como agentes radiofarmacêuticos, contraste para imagem, quimioterápicos de baixa massa molar, ribozimas, proteínas, imunoterápicos, lipossomos encapsulados, nanopartículas e dendrímeros. De um modo geral, é observado o aperfeiçoamento significativo na entrega e retenção de



moléculas, tanto em modelos pré-clínicos quanto em ensaios clínicos (BERTUZZI; PERLI; BRAGA; ORNELAS, 2020).

METABOLISMO DOS FOLATOS E A SARS-COV-2

O coronavírus-2 é o vírus responsável pela síndrome respiratória aguda grave e é também chamado de SARS-CoV-2. Ele é um vírus encapsulado de uma única fita de RNA com sentido negativo. Esse vírus é responsável pela pandemia COVID-19 que se espalhou por todo o mundo em menos de um ano causando milhares de mortes (VIGLIONE, 2020). Consequentemente, a busca por agentes terapêuticos e alvos antivirais específicos são objetivos de muitas pesquisas ao redor do mundo (VIGLIONE, 2020; ZHANG; GUO; KIM; SHAH *et al.*, 2021).

Alguns estudos evidenciaram uma relação importante entre algumas infecções bacterianas e virais com baixas concentrações séricas de folatos nos infectados. Alguns autores sugerem que os folatos suportam sistema imunológico, as células NK, células Th1 e a produção dos anticorpos. Consequentemente, em casos de infecções, a demanda pelo metabolismo dos folatos acaba sendo muito maior do que nos metabolismos saudáveis (MEISEL; EFROS; BLEIER; BEIT HALEVI *et al.*, 2021).

Pesquisas mais recentes também propõem uma ligação entre os níveis de folato, a prevalência da COVID-19 e a ocorrência de formas mais graves da doença. Entretanto, mostrou-se que os baixos níveis séricos de folatos em pacientes hospitalizados com o SARS-CoV-2 ocorrem por uma falha na absorção intestinal dos folatos via PCFT. Esse transportador mostrou-se dependente da vitamina D a qual comprovadamente foi associada a uma maior taxa de infecção e formas mais graves da doença em pacientes com o coronavírus-2. Além disso, a suplementação com ácido fólico mostrou-se eficaz para reduzir a hospitalização de mulheres grávidas por COVID-19 (MEISEL; EFROS; BLEIER; BEIT HALEVI *et al.*, 2021).

Yuchen Zhang e colaboradores mostraram que a infecção por SARS-CoV-2 remodela o metabolismo dos folatos nas células hospedeira no nível pós-transcricionais, especificamente na produção de novas purinas. Como consequência, as concentrações de folatos e de glicose no meio intracelular são depletadas nas células infectadas com o SARS-CoV-2. Os autores demonstraram que a replicação viral é extremamente sensível a presença dos antagonistas dos folatos, principalmente o metotrexato (ZHANG; GUO; KIM; SHAH *et al.*, 2021).

Nesse sentido, o desenvolvimento de novos antagonistas dos folatos e até mesmo de folatos conjugados para o direcionamento específico, tal como ocorre em algumas formas de



tratamento do câncer, são estratégias inéditas muito promissoras a serem exploradas visando o tratamento de infectados por SARS-CoV-2.

SÍNTESE DOS FOLATOS TERAÊUTICOS

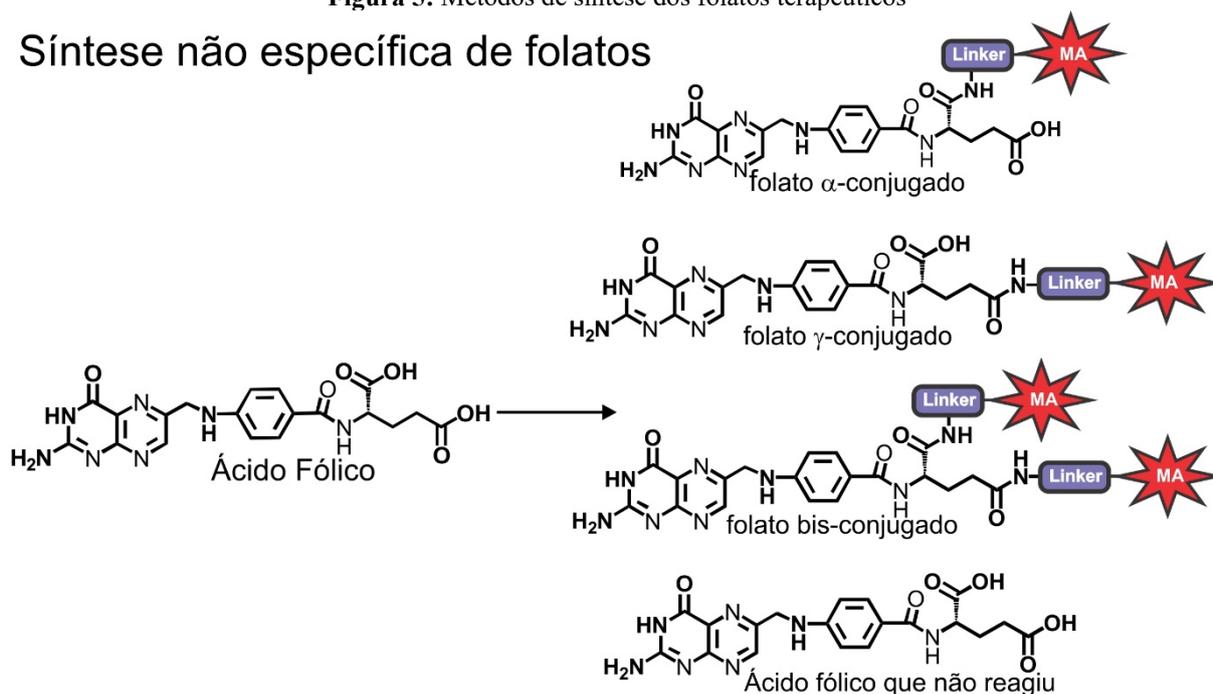
O principal representante dos folatos, o ácido fólico, é formado por três componentes estruturais: um anel de pteridina, um segmento PABA e um resíduo de L-glutamato. Os agentes bioativos e/ou espaçadores devem ser acoplados à porção do glutamato para manter a elevada afinidade da ligação do folato conjugado com o receptor alvo (CHEN, C.; KE, J. Y.; ZHOU, X. E.; YI, W. *et al.*, 2013). No resíduo de glutamato, existem dois grupos de ácido carboxílico disponíveis para reações de acoplamento; ácido α -carboxílico e ácido β -carboxílico. Quando o ácido fólico é utilizado como material de partida, as moléculas ativas são frequentemente anexadas via amidação mediada por carbodiimida (LIU; DENG; CHEN; QIAN *et al.*, 2010; TRINDADE; FRADE; MACOAS; GRACA *et al.*, 2014; WANG; LEE; MATHIAS; GREEN *et al.*, 1996). Neste caso, ambos os grupos de ácido α - e β -carboxílico são potencialmente acessíveis para a reação. Esta abordagem é chamada aqui de síntese não específica de folatos conjugados (Figura 5).

A síntese de folatos terapêuticos também pode ser conduzida para obter apenas um dos regioisômeros (ou a-conjugado ou g-conjugado), e esta abordagem é chamada de síntese regioespecífica de folatos (Figura 5). Neste caso, várias etapas de reação podem ser necessárias para montar o regioisômero desejado utilizando grupos de proteção ortogonais e os componentes estruturais dos folatos como blocos de construção (BERTUZZI; PERLI; BRAGA; ORNELAS, 2020). É importante destacar que vários estudos vêm mostrando que os regioisômeros dos folatos conjugados possuem diferentes comportamentos farmacológicos *in vivo*.

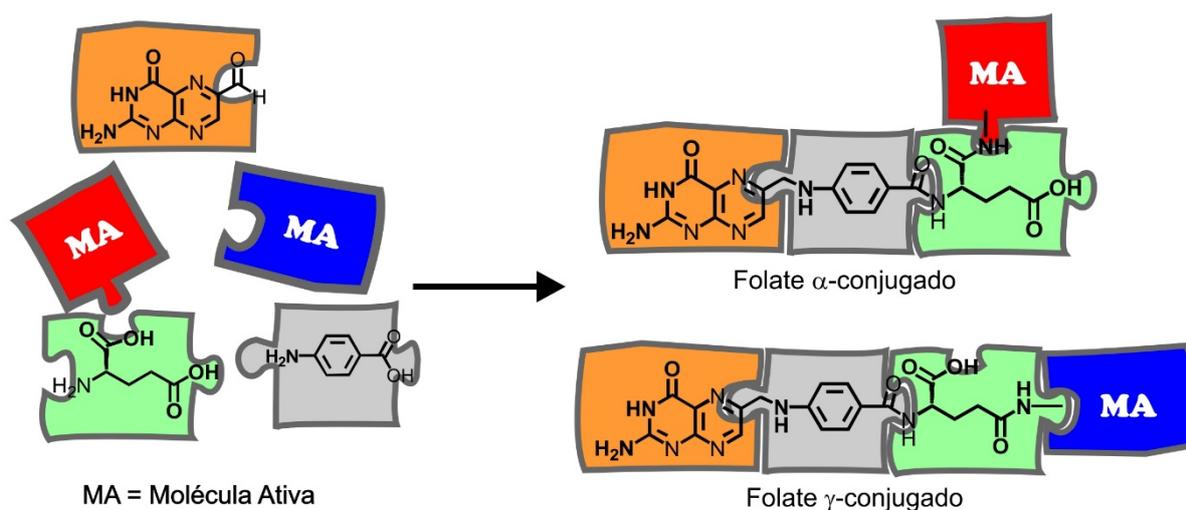
As reações entre os ácidos carboxílicos e as aminas (ou álcoois) para a obtenção de amidas (ou ésteres) geralmente ocorrem por meio da ativação do grupo ácido carboxílico (MONTALBETTI; FALQUE, 2005). As carbodiimidas são agente de acoplamento muito utilizados na síntese de folatos conjugados. Vários derivados das carbodiimidas estão comercialmente disponíveis para mediar a formação de ligações amida (ou éster), sendo N, N'-diciclohexilcarbodiimida (DCC) o mais frequente na síntese de folatos (GUO; HINKLE; LEE, 1999; LIU; DENG; CHEN; QIAN *et al.*, 2010; TRINDADE; FRADE; MACOAS; GRACA *et al.*, 2014; WANG; LEE; MATHIAS; GREEN *et al.*, 1996).

Figura 5: Métodos de síntese dos folatos terapêuticos

Síntese não específica de folatos



Síntese Regioespecífica de folatos



Fonte: Autorial própria, 2021

O ácido carboxílico reage com a carbodiimida para fornecer um intermediário anidrido misto de O-acilisourea (MONTALBETTI; FALQUE, 2005). Este intermediário ativado reage com a amina (ou álcool) para formar a amida desejada e o subproduto N,N'-diciclohexilureia (DCU). Este derivado de ureia é pouco solúvel na maioria dos solventes orgânicos e pode ser facilmente removido por filtração (MONTALBETTI; FALQUE, 2005). Nucleófilos (como a N-Hidroxisuccinimida - NHS) que reagem mais rapidamente com o anidrido misto de O-acilisourea para produzir outro intermediário reativo podem ser usados para prevenir reações não desejadas, como a formação da N-acilureia não reativa (MONTALBETTI; FALQUE, 2005).



A funcionalização do ácido fólico utilizando a química das carbodiimidas geralmente fornece o folato α -conjugado como o produto principal (TRINDADE; FRADE; MACOAS; GRACA *et al.*, 2014). Alguns estudos relataram que o impedimento estérico no ácido α -carboxílico é maior do que no ácido β -carboxílico e, portanto, a condensação na posição α é favorecida (GUO; HINKLE; LEE, 1999; LIU; DENG; CHEN; QIAN *et al.*, 2010; TRINDADE; FRADE; MACOAS; GRACA *et al.*, 2014; WANG; LEE; MATHIAS; GREEN *et al.*, 1996). Existem relatos de sínteses de folatos conjugados em uma ampla faixa de regioselectividade, e fica evidente que a razão molar entre ácido fólico e o agente de acoplamento é o fator mais relevante para atingir bons níveis de regioselectividade.

A principal vantagem da síntese não específica de folatos é a simplicidade. O procedimento experimental é direto, todos os reagentes estão prontamente disponíveis com um custo relativamente baixo e elimina a necessidade de técnicas de separação elaboradas. Portanto, essa metodologia pode ser uma escolha excelente para avaliar as propriedades físicas (por exemplo, solubilidade e estabilidade em água) da molécula-alvo e para uma triagem de sua atividade biológica. No entanto, essa metodologia pode fornecer até quatro compostos; o α -isômero, β -isômero, bis-conjugado e ácido fólico que não reagiu. Quando um desses compostos não é reconhecido pelo receptor, ou não tem qualquer ação terapêutica, o composto se comportará como uma impureza. No caso de ambos os regioisômeros serem capazes de se ligar ao receptor alvo, eles podem exibir diferentes perfis de biodistribuição e comportamentos farmacológicos. Isso pode aumentar a toxicidade do folato conjugado devido ao acúmulo indesejado em órgãos vitais (BOSS; BETZEL; MULLER; FISCHER *et al.*, 2016).

Na síntese regioespecífica dos folatos conjugados, duas abordagens podem ser empregadas: (i) a síntese convencional em solução e (ii) a síntese em fase sólida. O ácido pteróico e seus derivados são materiais de partida convenientes na produção de folatos terapêuticos tanto em solução quanto em síntese em fase sólida. (BERTUZZI; PERLI; BRAGA; ORNELAS, 2020; NOMURA; SHUTO; MATSUDA, 2000) A obtenção do ácido pteróico pode ser uma etapa limitadora na rota sintética, uma vez que este composto tem um alto custo, está relacionado a baixos rendimentos nas reações e é difícil de manusear e purificar devido à baixa solubilidade (XU; VLAHOV; LEAMON; SANTHAPURAM *et al.*, 2006). O ácido pteróico pode ser obtido por degradação do ácido fólico pela via enzimática (LUO; SMITH; LANTRIP; WANG *et al.*, 1997; NOMURA; SHUTO; MATSUDA, 2000) ou bacteriana (DARI; RABINOWITZ, 1985; HOULIHAN; BOYLE; SCOTT, 1972). Métodos baseados em transformações químicas também estão disponíveis, como a hidrólise do ácido fólico e métodos



baseados nas pteridinas (COOK.; MANOHARAN.; BHAT.; GUZZAEV., 2005; PLANTE, 1971).

Um aspecto relevante nessa rota de síntese é a possível contaminação do ácido pteróico por quantidades substanciais de ácido fólico, pteridinas e outros. Assim, aplicações de métodos eficientes e robustos para remover essas contaminações são necessárias; obviamente, quando o uso de sua forma bruta não é possível (XU; VLAHOV; LEAMON; SANTHAPURAM *et al.*, 2006).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As vitaminas do complexo B9, também conhecidas por folatos, desempenham funções biológicas extremamente importantes que estão relacionadas com a manutenção do organismo. Os seres humanos não são capazes de produzir os folatos e a fonte desses compostos acaba sendo a dieta. Ingestões de quantidades insuficientes de folatos podem acarretar diversas doenças, entre elas o câncer. Além disso, trabalhos mais recentes vêm mostrando que pacientes acometidos com a SARS-CoV-2 possuem baixas concentrações séricas de folatos, o que pode estar relacionada com a prevalência de formas mais graves da doença.

Apesar de ser uma possível causa do câncer, o ciclo dos folatos possui conexões terapêuticas extremamente relevantes com o câncer. Os antifolatos, antagonistas dos folatos, formam uma classe de agentes quimioterápicos amplamente utilizada até os dias de hoje. Esses compostos atuam inibindo enzimas chaves do metabolismo e impedem que as células se proliferem, afetando especialmente as células com elevadas taxas de divisão celular, como as cancerígenas. Entretanto, a quimioterapia dos antifolatos geralmente está associada a efeitos colaterais substanciais.

No início dos anos 90 foi proposta a utilização do ácido fólico, principal representante dos folatos, como grupo direcionador de fármacos e/ou agentes de imagem especificamente para alguns tipos de células cancerígenas. Estudos mostraram que algumas células cancerígenas de origem epitelial possuem elevada expressão da proteína receptora dos folatos Fra e o acoplamento de moléculas ativas ao ácido fólico não altera significativamente a afinidade da ligação Fra-folato terapêutico. Consequentemente, os folatos terapêuticos (ácido fólico-molécula ativa) são internalizados preferencialmente pelas células doentes. Desde então, diversos folatos foram produzidos e testados *in vitro* e *in vivo* e, também, temos estudos clínicos em andamento.



A utilização de folatos (antifolatos e folatos conjugados) também vem sendo proposta como terapia contra o novo coronavírus-2. Pesquisas mostram que nas células infectadas o metabolismo dos folatos é alterado visando a produção de novas bases nitrogenadas para modificações pós-transcricionais. Sendo assim, o design de compostos capazes de inibir seletivamente etapas do metabolismo dos folatos é uma estratégia terapêutica promissora e que deve ser amplamente explorada pela comunidade científica nos próximos anos.

Apesar de o metabolismo dos folatos ser conhecido há vários anos, esses compostos continuam sendo focos de várias pesquisas científicas e em diversas áreas do conhecido. Grupos de pesquisas multidisciplinares ou até mesmo a colaboração de diferentes grupos são essenciais, uma vez que a síntese de folatos conjugados acaba sendo desafiadora até mesmo para grupos de pesquisas especializados em síntese de compostos orgânicos. Sendo assim, a colaboração de grupos com diferentes especialidades é crucial para o desenvolvimento de novos folatos terapêuticos, visando à terapia do câncer ou também do novo coronavírus.

REFERÊNCIAS

ANTONY, A. C. **Folate receptors**. *Annu Rev Nutr*, 16, p. 501-521, 1996.

BAILEY, L. B. **Folate in Health and Disease**. 2ª edição, John Wiley & Sons, Ltd (Ed.).

BAILEY, L. B.; GREGORY, J. F. **Folate metabolism and requirements**. *Journal of Nutrition*, 129, n. 4, p. 779-782, 1999.

BERTUZZI, D. L.; PERLI, G.; BRAGA, C. B.; ORNELAS, C. **Synthesis, characterization, and anticancer activity of folate γ -ferrocenyl conjugates**. *New Journal of Chemistry*, 44, n. 12, p. 4694-4703, 2020.

BLOM, H. J.; SMULDERS, Y. **Overview of homocysteine and folate metabolism. With special references to cardiovascular disease and neural tube defects**. *J Inher Metab Dis*, 34, n. 1, p. 75-81, 2011.

BOSS, S. D.; BETZEL, T.; MULLER, C.; FISCHER, C. R. *et al.* **Comparative Studies of Three Pairs of alpha- and gamma-Conjugated Folic Acid Derivatives Labeled with Fluorine-18**. *Bioconjugate Chemistry*, 27, n. 1, p. 74-86, 2016.

CHABNER, B. A.; ROBERTS, T. G., Jr. **Timeline: Chemotherapy and the war on cancer**. *Nat Rev Cancer*, 5, n. 1, p. 65-72, 2005.

CHEN, C.; KE, J.; ZHOU, X. E.; YI, W. *et al.* **Structural basis for molecular recognition of folic acid by folate receptors**. *Nature*, 500, n. 7463, p. 486-489, 2013.

CHEN, C.; KE, J. Y.; ZHOU, X. E.; YI, W. *et al.* **Structural basis for molecular recognition of folic acid by folate receptors**. *Nature*, 500, n. 7463, p. 486, 2013.



COOK., P. D.; MANOHARAN., M.; BHAT., B.; GUZZAEV., A. P. **Nucleosidic and non-nucleosidic folate conjugates.** PATENT, US 6861514 B2, 2005.

DARI, L.; RABINOWITZ, J. C. **Synthesis of Folylpolylglutamates.** Methods in Enzymology, 113, p. 169-182, 1985.

DESMOULIN, S. K.; HOU, Z.; GANGJEE, A.; MATHERLY, L. H. **The human proton-coupled folate transporter: Biology and therapeutic applications to cancer.** Cancer Biol Ther, 13, n. 14, p. 1355-1373, 2012.

FARBER, S.; DIAMOND, L. K. **Temporary remissions in acute leukemia in children produced by folic acid antagonist, 4-aminopteroyl-glutamic acid.** N Engl J Med, 238, n. 23, p. 787-793, 1948.

FINKELSTEIN, J. D. **Methionine Metabolism in Mammals.** Journal of Nutritional Biochemistry, 1, n. 5, p. 228-237, 1990.

GONEN, N.; ASSARAF, Y. G. **Antifolates in cancer therapy: structure, activity and mechanisms of drug resistance.** Drug Resist Updat, 15, n. 4, p. 183-210, Aug 2012.

GUO, W. J.; HINKLE, G. H.; LEE, R. J. **Tc-99m-HYNIC-folate: A novel receptor-based targeted radiopharmaceutical for tumor imaging.** Journal of Nuclear Medicine, 40, n. 9, p. 1563-1569, 1999.

HAGNER, N.; JOERGER, M. **Cancer chemotherapy: targeting folic acid synthesis.** Cancer Manag Res, 2, p. 293-301, 2010.

HENDERSON, G. B. **Folate-binding proteins.** Annu Rev Nutr, 10, p. 319-335, 1990.

HOULIHAN, C. M.; BOYLE, P. H.; SCOTT, J. M. **Preparation and Purification of Ptericoic Acid from Folic-Acid.** Analytical Biochemistry, 46, n. 1, 1972.

KELEMEN, L. E. **The role of folate receptor alpha in cancer development, progression and treatment: cause, consequence or innocent bystander?** Int J Cancer, 119, n. 2, p. 243-250, 15 2006.

LEAMON, C. P.; REDDY, J. A. **Folate-targeted chemotherapy.** Adv Drug Deliv Rev, 56, n. 8, p. 1127-1141, 2004.

LEDERMANN, J. A.; CANEVARI, S.; THIGPEN, T. **Targeting the folate receptor: diagnostic and therapeutic approaches to personalize cancer treatments.** Ann Oncol, 26, n. 10, p. 2034-2043, 2015.

LIU, F.; DENG, D. W.; CHEN, X. Y.; QIAN, Z. Y. *et al.* **Folate-Polyethylene Glycol Conjugated Near-Infrared Fluorescence Probe with High Targeting Affinity and Sensitivity for In Vivo Early Tumor Diagnosis.** Molecular Imaging and Biology, 12, n. 6, p. 595-607, 2010.

LOCASALE, J. W. **Serine, glycine and one-carbon units: cancer metabolism in full circle.** Nature Reviews Cancer, 13, n. 8, p. 572-583, 2013.



LU, Y.; LOW, P. S. **Folate-mediated delivery of macromolecular anticancer therapeutic agents.** *Adv Drug Deliv Rev*, 54, n. 5, p. 675-693, 2002.

LUO, J.; SMITH, M. D.; LANTRIP, D. A.; WANG, S. *et al.* **Efficient syntheses of pyrofollic acid and pteroyl azide, reagents for the production of carboxyl-differentiated derivatives of folic acid.** *Journal of the American Chemical Society*, 119, n. 42, p. 10004-10013, 1997.

MEISEL, E.; EFROS, O.; BLEIER, J.; BEIT HALEVI, T. *et al.* **Folate Levels in Patients Hospitalized with Coronavirus Disease 2019.** *Nutrients*, 13, n. 3, 2021.

MONTALBETTI, C. A. G. N.; FALQUE, V. **Amide bond formation and peptide coupling.** *Tetrahedron*, 61, n. 46, p. 10827-10852, 2005.

NOMURA, M.; SHUTO, S.; MATSUDA, A. **Nucleosides and nucleotides, part 196 - Development of an efficient intermediate, alpha-[2-(trimethylsilyl)ethoxy]-2-N-[2-(trimethylsilyl)ethoxycarbonyl]folic acid, for the synthesis of folate (gamma)-conjugates, and its application to the synthesis of folate-nucleoside conjugates.** *Journal of Organic Chemistry*, 65, n. 16, p. 5016-5021, 2000.

PLANTE, L. T. **Convenient Synthesis of Pteric Acid.** *Journal of Organic Chemistry*, 36, n. 6, 1971.

QIU, A.; JANSEN, M.; SAKARIS, A.; MIN, S. H. *et al.* **Identification of an intestinal folate transporter and the molecular basis for hereditary folate malabsorption.** *Cell*, 127, n. 5, p. 917-928, 2006.

STANKOVA, J.; LAWRENCE, A. K.; ROZEN, R. **Methylenetetrahydrofolate reductase (MTHFR): A novel target for cancer therapy.** *Current Pharmaceutical Design*, 14, n. 11, p. 1143-1150, 2008.

THWAITES, D. T.; ANDERSON, C. M. **H⁺-coupled nutrient, micronutrient and drug transporters in the mammalian small intestine.** *Exp Physiol*, 92, n. 4, p. 603-619, 2007.

TRAN, T.; SHATNAWI, A.; ZHENG, X.; KELLEY, K. M. *et al.* **Enhancement of folate receptor alpha expression in tumor cells through the glucocorticoid receptor: a promising means to improved tumor detection and targeting.** *Cancer Res*, 65, n. 10, p. 4431-4441, 2005.

TRINDADE, A. F.; FRADE, R. F. M.; MACOAS, E. M. S.; GRACA, C. *et al.* **"Click and go": simple and fast folic acid conjugation.** *Organic & Biomolecular Chemistry*, 12, n. 20, p. 3181-3190, 2014.

VIGLIONE, G. **How many people has the coronavirus killed?** *Nature*, 585, n. 7823, p. 22-24, 2020.

WANG, S.; LEE, R. J.; MATHIAS, C. J.; GREEN, M. A. *et al.* **Synthesis, purification, and tumor cell uptake of Ga-67-deferoxamine-folate, a potential radiopharmaceutical for tumor imaging.** *Bioconjugate Chemistry*, 7, n. 1, p. 56-62, 1996.

XU, L.-C.; VLAHOV, I.; LEAMON, C. P.; SANTHAPURAM, H. K. R. *et al.* **Synthesis and purification of pteric acid and conjugates thereof.** PATENT, US20080207625A1, 2006.



ZHANG, Y.; GUO, R.; KIM, S. H.; SHAH, H. *et al.* **SARS-CoV-2 hijacks folate and one-carbon metabolism for viral replication.** Nat Commun, 12, n. 1, p. 1676, 2021.

ZHAO, R. B.; DIOP-BOVE, N.; VISENTIN, M.; GOLDMAN, I. D. **Mechanisms of Membrane Transport of Folates into Cells and Across Epithelia.** Annual Review of Nutrition, Vol 31, 31, p. 177-201, 2011.

CAPÍTULO 16

BIOSENSORES: PRINCÍPIOS E APLICAÇÕES DE MOLÉCULAS ORGÂNICAS NA CAMADA DE DETECÇÃO

DOI: 10.47402/ed.ep.c202292316974

Diego Luan Bertuzzi

RESUMO

Os biossensores são dispositivos autocontidos integrados capazes de fornecer informações analíticas quantitativas de uma amostra, por meio de um elemento de reconhecimento biológico que está em contato direto com o transdutor. Estes dispositivos possuem grande potencial de aplicação em quaisquer tarefas de análise, desde diagnósticos médicos, análises em alimentos e bebidas, controle de monitoramento ambiental até aplicações de segurança e defesa. O conceito de biossensor começou a ganhar forma em 1956, quando Leland C. Clark publicou um artigo científico sobre o desenvolvimento de um sensor eletroquímico capaz de detectar oxigênio no sangue humano. Seis anos mais tarde, em 1962, Clark sugeriu a construção de sensores eletroquímicos mais inteligentes, utilizando enzimas imobilizadas em sua superfície, que foram primeiramente chamados de eletrodo enzima. Ainda no mesmo ano, Clark depositou uma patente de um eletrodo enzima para determinação da concentração de glicose no sangue humano, formado através do aprisionamento da enzima glicose oxidase sobre um eletrodo de oxigênio, via membrana semipermeável de diálise. Além de ser o marco da área dos biossensores, este dispositivo permanece como uma ferramenta analítica extremamente útil, principalmente no controle da glicemia de pacientes diabéticos; onde seus fundamentos continuam sendo aplicados. Após o desenvolvimento do biossensor para detecção de glicose, diversos outros biossensores eletroquímicos catalíticos foram surgindo. Duas décadas mais tarde, foi desenvolvido o primeiro biossensor baseado em método óptico de transdução de sinal e, também, biossensores baseados em fibras ópticas. Estes foram apenas os primeiros passos na área dos biossensores. Mais tarde, diversos outros materiais biológicos foram utilizados juntamente com outros métodos de detecção, como os acústicos e térmicos. Quando comparados aos métodos convencionais de análise, os biossensores apresentam algumas vantagens, como a elevada sensibilidade e seletividade, capacidade de detecção de múltiplos analitos, análise rápida e em tempo real, realização de análises contínuas e possibilidade de miniaturização. Consequentemente, o desenvolvimento de biossensores tornou-se uma área que tem atraído o investimento de grandes empresas, aumentando ano após ano o número de publicações científicas. Este capítulo tem como objetivo abordar os fundamentos e aplicações dos biossensores, com ênfase em biossensores ópticos. Primeiramente, serão abordadas as definições de sensores e biossensores recomendadas pela União Internacional da Química Pura e Aplicada (IUPAC). Em seguida, os biossensores serão classificados de acordo com o elemento de reconhecimento e em relação ao mecanismo de conversão de sinal utilizado pelo transdutor. Por fim, serão abordados os fundamentos dos biossensores ópticos juntamente com exemplos da literatura atual de alto impacto, os quais serão utilizados para a discussão dos principais métodos de transdução óptica.

PALAVRAS-CHAVE: BIOSSENSORES; BIOMOLÉCULAS, ANÁLISES QUÍMICAS;

BIOSSENSORES DEFINIÇÕES E FUNDAMENTOS

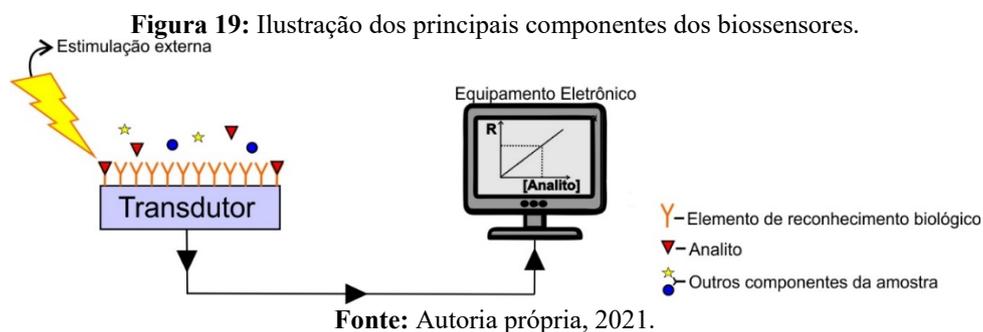
Segundo a IUPAC, um sensor químico é um dispositivo que transforma informações químicas, como a concentração de um analito ou composição total do sistema, em um sinal analiticamente útil, ou mensurável. Os sensores físicos detectam propriedades físicas do meio, como a força, temperatura, pressão (THEÂVENOT; TOTH; DURST; WILSON, 1999).

Basicamente, os sensores químicos consistem de um elemento de reconhecimento, uma unidade de conversão de sinal, mais conhecida por transdutor e um equipamento eletrônico para interface com o dispositivo. O elemento de reconhecimento reage ou liga-se especificamente com o analito de interesse, fornecendo uma resposta que pode ser química ou física. O transdutor tem como função converter esta resposta em algum sinal que possa ser detectado, amplificado e, por fim, transformado em um dado analiticamente útil. Em alguns casos, pode ser necessária a utilização de estimulação externa para que o processo de reconhecimento ocorra (PRASAD, 2004).

Os sensores químicos que utilizam materiais biológicos como elemento de reconhecimento são classificados como biossensores. A IUPAC define o biossensor como um dispositivo autocontido integrado, capaz de fornecer informação analítica quantitativa utilizando um elemento de reconhecimento biológico, que é mantido em contato direto com o transdutor de sinal, conforme ilustra a Figura 1. Atualmente, encontramos diversos tipos de materiais biológicos atuando como elemento de reconhecimento, desde células íntegras, proteínas, anticorpos, nucleotídeos, até ligantes de massa molar reduzida.

Alguns critérios devem ser satisfeitos de modo a construir um biossensor aplicável. Os dispositivos devem apresentar seletividade, sensibilidade, repetitividade, reprodutibilidade, resposta linear e baixo tempo de resposta. A seletividade é definida como a capacidade do biossensor em reconhecer apenas o seu alvo, sendo uma propriedade dependente do elemento de reconhecimento e do método de conversão de sinal. A sensibilidade é obtida através da razão entre a alteração no sinal e a quantidade do analito responsável por provocar tal alteração. A repetitividade refere-se à proximidade dos dados obtidos utilizando o mesmo sensor e a mesma amostra. A reprodutibilidade é a obtenção de resultados similares por outros operadores em diferentes laboratórios. A resposta linear refere-se à relação linear obtida na curva de calibração, sendo que um biossensor que apresente resposta linear é preferível, pois seu comportamento pode ser matematicamente descrito com maior facilidade. O tempo de resposta é definido como o tempo necessário para que o estado de equilíbrio seja atingido após variação na concentração

do analito, e quanto menor o tempo de resposta maior a frequência entre as medidas (LEEB., 2011).



CLASSIFICAÇÃO DOS BIOSENSORES

Os biossensores podem ser classificados de acordo com o elemento de reconhecimento, mecanismo de conversão de sinal utilizado no transdutor ou uma combinação de ambos. Estas classificações serão abordadas a seguir

BIOSENSORES FOR AFINIDADE E BIOSSENSORES CATALÍTICOS

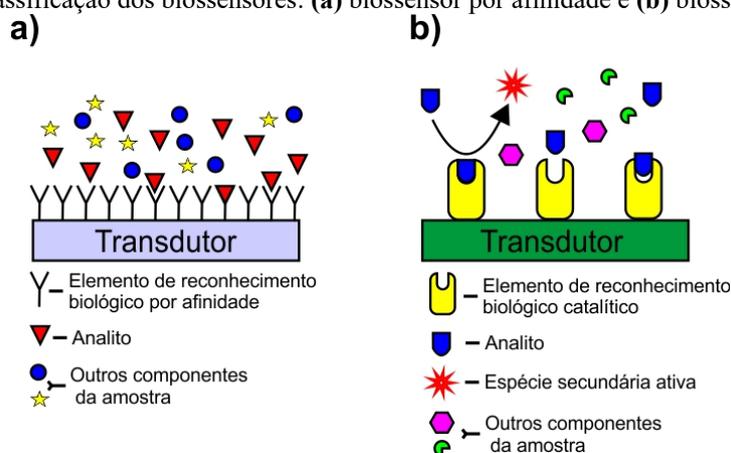
Em relação aos elementos de reconhecimento, os biossensores podem ser divididos em duas grandes classes: por afinidade (ou não catalíticos) e os catalíticos (Figura 2).

Os biossensores não catalíticos são aqueles utilizados para detecção direta, também conhecidos como biossensores por afinidade, nos quais a interação com o analito é monitorada em tempo real. Estes biossensores baseiam-se na complementaridade entre a biomolécula e o analito, possibilitando a formação de ligações fortes e seletivas que resultam em um sinal mensurável. As biomoléculas frequentemente utilizadas são proteínas receptoras de membrana, anticorpos e oligonucleotídeos. Os anticorpos são certamente os mais utilizados em biossensores por afinidade, chamados de imunossensores, pois se um anticorpo pode ser formado para um determinado antígeno, teoricamente um imunossensor pode ser desenvolvido para detectá-lo. Além disso, a ligação formada entre o anticorpo e o antígeno é seletiva e forte, resultando em limites de detecção na ordem de $\mu\text{g.L}^{-1}$, ng.L^{-1} e até pg.L^{-1} (HEINEMANB., 2010; THEÂVENOT; TOTH; DURST; WILSON, 1999).

Já os elementos de reconhecimento catalíticos são aqueles utilizados em biossensores de detecção indireta, também conhecidos por biossensores catalíticos, nos quais a interação entre o elemento de reconhecimento e o analito produz uma espécie secundária ativa. O componente biológico pode ser formado por enzimas, células ou tecidos. As enzimas são mais utilizadas, pois, de um modo geral, apresentam elevada atividade catalítica e especificidade;

resultando na formação de dispositivos com configuração simples, fáceis de manusear, compactos e de baixo custo (HEINEMANB., 2010).

Figura 20: Classificação dos biossensores: (a) biossensor por afinidade e (b) biossensor catalítico.



Fonte: Autoria própria, 2021.

BIOSENSORES ELETROQUÍMICOS, ÓPTICOS, ACÚSTICOS OU TÉRMICOS

O transdutor é o componente responsável por converter a resposta gerada na interação entre o analito e o elemento de reconhecimento biológico em um sinal detectável. Os transdutores podem ser classificados em quatro grandes classes, de acordo com o método utilizado na conversão do sinal, sendo eles: eletroquímicos, ópticos, acústicos (ou massa) e térmicos (ou calorimétricos).

Nos biossensores eletroquímicos, o transdutor é formado por um eletrodo (ou condutor elétrico), responsável por converter a resposta do evento de reconhecimento em um sinal elétrico. Podemos obter três sinais elétricos distintos e assim, classificar os biossensores eletroquímicos de acordo com o observado. Os biossensores amperométricos apresentam como sinal elétrico uma alteração na corrente elétrica do sistema, enquanto que nos biossensores potenciométricos observamos a variação no potencial elétrico (ou acúmulo de cargas) e por fim, nos biossensores condutométricos observamos alterações na condutividade do meio (HEINEMANB., 2010).

Os biossensores acústicos (ou de massa) baseiam-se na variação de massa na camada de detecção. A variação de massa é monitorada através da oscilação de cristais piezoelétricos, tais como na microbalança de cristais de quartzo. Neste caso, os transdutores convertem a resposta do evento de reconhecimento molecular em uma variação da sua frequência de vibração. Estas ondas acústicas podem então ser relacionadas com a concentração do analito através da equação de Sauerbrey (FERREIRA; DA-SILVA; TOME, 2009).



Os biossensores térmicos exploram o calor liberado ou absorvido de uma reação química. Deste modo, um transdutor térmico (ou calorimétrico) detecta a variação na temperatura do meio, provocada pela reação. Geralmente, o transdutor térmico é utilizado juntamente com um elemento de reconhecimento biológico catalítico, já que os processos catalíticos geram calor (ou entalpia) suficiente para provocar variações na temperatura. O calor liberado ou absorvido em uma reação química pode ser utilizado para a determinação da concentração do analito, uma vez que é proporcional à entalpia molar e ao número de moléculas produzidas na reação (RAMANATHAN; DANIELSSON, 2001).

Finalmente, nos biossensores ópticos o transdutor responde à presença do analito através de um sinal óptico. O sinal é registrado por um fotodetector que o transforma em um sinal elétrico, proporcional à intensidade da luz incidente. O sinal elétrico é então relacionado com a concentração do analito na amostra. Os biossensores ópticos são dispositivos com alto potencial de aplicação em diversas tarefas de análise, pois são altamente sensíveis, rápidos, reprodutíveis e de fácil operação. Deste modo, iremos abordar com maiores detalhes os fundamentos dos biossensores ópticos, principais componentes, métodos de imobilização de biomoléculas e métodos de transdução de sinal; juntamente com exemplos da literatura científica atual de alto impacto.

PRINCIPAIS COMPONENTES E APLICAÇÕES DOS BIOSSENSORES ÓPTICOS

Como já mencionado anteriormente, nos biossensores ópticos o transdutor transforma a resposta do evento de reconhecimento em um sinal óptico e através de técnicas de detecção obtemos informações sobre o analito (BANICA, 2012; BORISOV; WOLFBEIS, 2008; PRASAD, 2004). Na maioria dos biossensores ópticos, uma fonte de luz é utilizada como estimulação externa e passamos a observar alterações nas propriedades do feixe incidente em resposta ao processo de reconhecimento. Tais alterações incluem mudanças de fase, amplitude, polarização ou frequência (BANICA, 2012; BORISOV; WOLFBEIS, 2008; PRASAD, 2004). Também podemos observar a radiação eletromagnética produzida durante processo de reconhecimento, sem necessidade de utilizar estimulação.

O desenvolvimento de biossensores ópticos é uma área bastante promissora que merece devida atenção. Estes biossensores destacam-se por apresentar seletividade e especificidade, isolamento de interferências eletromagnéticas, análises em tempo real, possibilidade de detecção de múltiplos parâmetros, design compacto e componentes ópticos biocompatíveis (PRASAD, 2004).



Os principais componentes de um biossensor óptico são: fonte de luz externa, meio de transmissão óptica, elemento de reconhecimento biológico, transdutor, sistema de detecção óptica e dispositivo eletrônico para a interface (PRASAD, 2004). Nas próximas seções serão discutidos os principais componentes dos biossensores ópticos, com ênfase para o elemento de reconhecimento biológico e mecanismos de transdução óptica.

FONTE DE LUZ EXTERNA

Lasers são frequentemente utilizados como fontes de luz externa, principalmente aqueles formados por diodos emissores de luz; já que possuem tamanho reduzido (BANICA, 2012; PRABOWO; SU; CHANG; LAI *et al.*, 2016; WU; CHEN; SEEDS; LIU, 2015). Caso seja necessário, podem ser utilizados filtros monocromadores para a seleção de comprimentos de ondas específicos.

MEIO DE TRANSMISSÃO ÓPTICA

Os guias de ondas ópticas são utilizados como meio de propagação da radiação eletromagnética em biossensores ópticos. São estruturas formadas com a integração de materiais transparentes e com diferentes índices de refração, que são capazes de propagar ondas eletromagnéticas em determinadas direções, até mesmo em trajetórias curvas. Podemos encontrar guias de ondas na forma de fibras ópticas, planares e tubos capilares.

A propagação de ondas eletromagnéticas através da fibra óptica é baseada no fenômeno de refração da luz, especificamente na reflexão interna total. Quando um feixe de luz incide sobre a interface entre dois meios transparentes, com um ângulo de incidência suficientemente grande, o ângulo de refração torna-se maior que 90° . Conseqüentemente, o feixe de luz não atravessa a interface, mas sim, retorna para o meio de origem; sendo este fenômeno conhecido de reflexão interna total (BANICA, 2012; POSPISILOVA; KUNCOVA; TROGL, 2015).

As fibras ópticas podem desempenhar tanto papel passivo quanto ativo nos biossensores ópticos. Na participação passiva, elas direcionam o feixe de luz da fonte luminosa para a camada de detecção e, então, para o detector óptico. Já no papel ativo, o feixe de luz incidente passa a interagir com a camada de detecção, que está sobre a superfície do núcleo da fibra óptica. A onda evanescente formada além do limite do núcleo da fibra é utilizada para caracterizar a interação entre o elemento de reconhecimento e o analito. Este último modo é utilizado em biossensores livres de marcadores ópticos (BANICA, 2012; POSPISILOVA; KUNCOVA; TROGL, 2015).



DETECTORES ÓPTICOS

Os detectores ópticos funcionam através da geração de um sinal elétrico proporcional a intensidade da radiação eletromagnética incidente, que por sua vez é relacionado com a concentração do analito na amostra. O tubo fotomultiplicador é um exemplo de detector óptico. Os fotodiodos e fototransistor também são utilizados, tais dispositivos possuem tamanho reduzido e menor custo de fabricação (BANICA, 2012; SCHWARZ.; HAUSER., 2001; WU; CHEN; SEEDS; LIU, 2015). Detectores ópticos construídos a partir de semicondutores podem ser integrados em matrizes com grande número de detectores, os quais são distribuídos uniformemente em uma área de um centímetro quadrado.

ELEMENTO DE RECONHECIMENTO BIOLÓGICO

Assim como nos demais biossensores, é grande a diversidade dos materiais biológicos que podem compor o elemento de reconhecimento nos biossensores ópticos. Os materiais biológicos são frequentemente imobilizados na superfície sólida do transdutor, visando aumentar a concentração do elemento de reconhecimento na região de detecção e a reutilização do biossensor (BANICA, 2012; BORISOV; WOLFBEIS, 2008; PRASAD, 2004). Esta superfície sólida pode ser formada por polímeros, vidros ou metais. Também pode-se encontrar materiais biológicos imobilizados em nanopartículas, que permanecem suspensas em solução. Neste caso, a reutilização do biossensor é dificultada.

A manutenção da conformação nativa do elemento de reconhecimento após a imobilização e a estabilidade da imobilização são fatores determinantes para o sucesso do biossensor, pois estão intrinsicamente relacionadas com a seletividade, sensibilidade e estabilidade a longo prazo dos mesmos (BORISOV; WOLFBEIS, 2008). Basicamente, os métodos de imobilização de biomoléculas podem ser classificados em físicos e químicos.

MÉTODOS DE IMOBILIZAÇÃO DE BIOMOLÉCULAS

Nos métodos físicos, como o próprio nome já nos sugere, interações puramente físicas governam a imobilização da biomolécula no suporte (BANICA, 2012; BORISOV; WOLFBEIS, 2008; COOPER, 2002; PRASAD, 2004). Biomoléculas podem ser aprisionadas em matrizes com porosidade controlada, sendo este o método físico mais simples. A matriz pode ser composta por géis de polímeros, tais como a poliacrilamida, álcool polivinílico, cloreto polivinílico ou epóxi; por vidros processados pelo método sol gel, membranas semipermeáveis ou microesferas. Outro método físico bastante utilizado é a adsorção, definida como o acúmulo de substâncias numa interface. Diversos tipos de interações entre a biomolécula e a superfície



podem governar o processo de adsorção e podem ser utilizadas para obter adsorção seletiva da biomolécula (KAUR; PALIWAL; TOMAR; GUPTA, 2016). O processo de adsorção pode ser aprimorado através da realização de pré-tratamento na superfície do suporte. Além destes métodos, é bastante comum encontrarmos proteínas imobilizadas através da formação de quelatos, os quais envolvem metais de transição (como o Ni^{2+}) presentes no suporte sólido e caudas de histidinas de proteínas recombinantes (LAN; CHEN; CUI; TAN *et al.*, 2012). A imobilização via formação dos quelatos pode se estender a outros elementos de reconhecimento, tais como anticorpos (COOPER, 2002). A simplicidade e o baixo custo dos métodos físicos são, sem dúvidas, bastante atraentes. Entretanto, em determinados casos pode ser observada adsorção não específica, variações na densidade superficial das biomoléculas e perdas por dessorção.

Nos métodos de imobilização química, o elemento de reconhecimento e a superfície sólida estão ligados quimicamente um ao outro. Para que tal ligação seja possível, pode ser necessária a modificação da superfície do suporte através da inserção de grupos funcionais que permitam a realização de reações de acoplamento com a biomolécula a ser imobilizada, tais como, grupos hidroxilas (-OH), aminas (-NH₂), ácidos carboxílicos (-COOH) e tióis (-SH) (CUI; ZHU; WU; HOU *et al.*, 2015). Por exemplo, a técnica de monocamada auto-organizada (do Inglês *Self-Assembled Monolayer* - SAM) é bastante utilizada para a imobilização do elemento de reconhecimento sobre filmes finos metálicos ou nanopartículas, os quais geralmente são compostos de ouro. Nesta técnica, se faz necessária a utilização de moléculas com longas cadeias hidrocarbônicas, contendo um grupo -SH em uma das extremidades e, na outra, um grupo -NH₂ ou -COOH. O grupo -SH se liga através de uma forte ligação covalente com a superfície de ouro (ligação tiol-ouro), enquanto que o grupo da outra extremidade é acoplado ao elemento de reconhecimento.

Elementos de reconhecimento também podem ser imobilizados através do acoplamento com o cofator biotina, que por sua vez se liga a proteína avidina. Este método proporciona uma imobilização bastante eficiente e, além disso, otimiza a orientação do elemento de reconhecimento (HUANG; CHEN; WU; DUAN *et al.*, 2015). Biomoléculas podem também ser quimicamente ligadas a uma camada que reveste o filme metálico ou as nanopartículas. A camada de revestimento é formada por polímeros ou hidrogéis e possui como função evitar a adsorção não específica de moléculas sobre a superfície metálica. O carboximetil dextrano é um polímero linear bastante utilizado para este revestimento (COOPER, 2002; JAHANSHAH; SEKARAN; ADIKAN, 2015).

MECANISMOS DE TRANSDUÇÃO ÓPTICA

Os biossensores ópticos podem ser classificados de acordo com o mecanismo de transdução óptica utilizado, os quais podem ser divididos em métodos espectroquímicos e livres de marcadores ópticos. Nos métodos espectroquímicos, a transdução é realizada através da absorção ou emissão da radiação eletromagnética por um componente da camada de detecção. Tais métodos necessitam que a camada de detecção seja composta por um componente capaz de absorver ou emitir radiação eletromagnética. Na sequência, serão abordados os métodos espectroquímicos baseados na absorção da radiação eletromagnética na região do ultravioleta-visível (UV-vis) e infravermelho próximo (do Inglês *Near-infrared* - NIR) e baseados na emissão da luz por fluorescência. Embora sejam os métodos mais usuais na literatura atual, outros também podem ser encontrados, como os métodos baseados na quimiluminescência e espectroscopia Raman (LEBEDEV; GRIVA; DRESSICK; PHELPS *et al.*, 2016).

Nos métodos livres de marcadores ópticos, são monitoradas alterações nas propriedades físicas intrínsecas da camada de detecção em função da interação entre o analito e o elemento de reconhecimento. Tais propriedades incluem o índice de refração e a espessura. A espectroscopia de ressonância de plasmon é amplamente utilizada em biossensores ópticos para monitoramento do índice de refração da camada de detecção.

MÉTODOS ESPECTROQUÍMICOS DE TRANSDUÇÃO DE SINAL

Absorção da radiação eletromagnética

Uma determinada espécie absorve radiação eletromagnética quando a energia do fóton incidente é igual ou maior que a diferença de energia entre um orbital vazio e um orbital ocupado. Além disso, a absorção pode ocorrer através da formação dos plasmons de superfície em metais. Durante uma análise de absorção, um feixe de luz incide sobre a camada ativa do biossensor com intensidade I_0 , o qual é absorvido por um componente opticamente ativo da camada de detecção de modo a ser transmitido com intensidade I . O grau de absorção é medido através da absorbância (A) (Equação 1), e através da lei de Lambert-Beer (Equação 2), podemos relaciona-la com a concentração da espécie opticamente ativa (c).

$$A = -\text{Log } T, \text{ sendo que } T = \frac{I}{I_0} \quad \text{Equação 1}$$

$$A = \epsilon bc \quad \text{Equação 2}$$



Onde T é a transmitância, \square o coeficiente de extinção (ou absorvividade molar) e b o caminho óptico.

Caso o analito não apresente bandas de absorção, o processo de reconhecimento pode ser monitorado através do deslocamento na banda de absorção do elemento de reconhecimento (VERDIAN-DOGHAEI; HOUSAINDOKHT, 2015) ou de outra espécie opticamente ativa da camada de detecção (CHEN; KE; ZHOU; YI *et al.*, 2013). Tais alterações são consequências da interação entre o analito e o elemento de reconhecimento e são utilizadas para a determinação da concentração do analito através de uma curva de calibração.(CHEN; KE; ZHOU; YI *et al.*, 2013) Além disso, também podemos monitorar o processo de reconhecimento através da formação de uma espécie secundária ativa, como nos biossensores catalíticos.(LAN; CHEN; CUI; TAN *et al.*, 2012)

Em 2013, Xia Xu e colaboradores publicaram um estudo sobre o desenvolvimento de um biossensor óptico por afinidade bastante promissor, cuja detecção do analito é baseada na absorção da radiação eletromagnética na região do UV-vis e na região do NIR, em consequência da dispersão competitiva das nanopartículas de ouro na forma de bastão (do Inglês *gold nanorods* - GNRs). O analito de interesse é a aflatoxina B1 (AFB1), uma micotoxina carcinogênica produzida por fungos do gênero *Aspergillus* e que pode ser encontrada em produtos agrícolas estocados. Como elemento de reconhecimento biológico foram utilizados anticorpos monoclonais comerciais contra a AFB1. Os autores utilizaram as GNRs como marcadores ópticos, pois assim como em outras nanopartículas metálicas e de semicondutores, elas absorvem a radiação eletromagnética em comprimentos de onda (ou frequências) característicos; em decorrência da ressonância de plasmon de superfície. A frequência da luz que é absorvida é função do tamanho, forma, superfície e da distância entre as nanopartículas em uma suspensão. Consequentemente, é possível monitorar a interação entre o analito e o elemento de reconhecimento através do deslocamento da banda de absorção das GNRs, em decorrência da formação de agregados ou da dispersão das nanopartículas.(CHEN; KE; ZHOU; YI *et al.*, 2013)

Após a síntese das GNRs, as mesmas foram quimicamente modificadas com o ácido 11-mercaptopundecanóico (MUDA) para a formação da SAM. Aos grupos ácidos carboxílicos livres das moléculas do MUDA foram acoplados, com a utilização de carbodiimidias, os conjugados comerciais formados pela proteína albumina do soro bovino (BSA) e moléculas da AFB1 (de 8 a 10 moléculas de AFB1 para uma de BSA), resultando no conjugado competitivo GNRs-BSA-AFB1. Tal conjugado é mantido em uma suspensão estável em tampão de fosfato.



Após a adição do anticorpo monoclonal na suspensão, ocorre a agregação dos conjugados competitivos GNRs-BSA-AFB1; uma vez que cada anticorpo se liga a duas moléculas do antígeno e cada conjugado competitivo GNR-BSA-AFB1 possui de 8 a 10 moléculas da AFB1 para cada uma de BSA. Deste modo, em uma amostra que não possui o analito AFB1, o conjugado competitivo GNRs-BSA-AFB1 permanecerá agregado e observamos a banda de absorção das GNRs em 850 nm. Quando o analito AFB1 está presente, o mesmo irá competir com o conjugado GNRs-BSA-AFB1 para ligar-se ao anticorpo e, assim, podemos observar a dispersão das nanopartículas juntamente com o surgimento de uma banda de absorção em 709 nm.

A intensidade da absorção em 709 nm foi então relacionada com a concentração do analito AFB1 numa faixa de 5 a 20 ng.mL⁻¹, obtendo-se uma boa relação linear para a curva de calibração e um limite de detecção consideravelmente baixo de 16 ng.mL⁻¹.

O método de detecção baseado na dispersão competitiva das GNRs proposto é, sem dúvida, bastante promissor, uma vez que diminui a chance de obtenção de falsos resultados já observados em trabalhos anteriores. Os falsos resultados são decorrentes da formação de agregados indesejáveis das nanopartículas em matrizes mais complexas. Além disso, o biossensor apresentou um limite de detecção consideravelmente baixo, boa seletividade, exatidão e detecção rápida em apenas uma etapa experimental. Entretanto, por se tratar do marcador óptico e do elemento de reconhecimento suspensos em solução, a reutilização deste biossensor pode ser um fator limitador para a sua aplicação, já que certamente nanopartículas de ouro e anticorpos monoclonais possuem elevado custo financeiro.

EMISSÃO DA RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA POR FLUORESCÊNCIA

A luminescência é definida como a emissão de radiação eletromagnética por um corpo frio. O processo de emissão pode ser analisado em duas etapas sucessivas, iniciando com a formação de um estado eletrônico excitado, caracterizado pela promoção de um elétron do estado fundamental para um orbital molecular de maior energia, seguido da relaxação do estado excitado que é acompanhado de emissão da radiação eletromagnética. A luminescência produzida por meio da excitação pela luz é chamada de fotoluminescência (BANICA, 2012).

A fluorescência é um tipo de fotoluminescência, na qual a emissão da radiação eletromagnética acontece em comprimentos de ondas maiores (frequência e energia menores) em relação ao comprimento de onda da luz absorvida e sempre no intervalo de 10⁻⁹ a 10⁻⁵ segundos após a absorção. Esta diferença entre o comprimento de onda absorvido e emitido é



chamada de deslocamento de Stokes, que é consequência da transferência de energia do estado excitado por processos não radioativos (BANICA, 2012; PRASAD, 2004).

Compostos que produzem fluorescência são chamados de fluoróforos e são frequentemente utilizados como marcadores em biossensores ópticos, caso o analito ou elemento de reconhecimento não emitam fluorescência. Diversos são os compostos que podem ser utilizados como marcadores, por exemplo, corantes orgânicos, complexos metálicos, nanopartículas metálicas, nanopartículas semicondutoras, nanotubos de carbono e grafeno (BORISOV; WOLFBEIS, 2008).

A sensibilidade dos métodos de detecção baseados na fluorescência depende de duas propriedades do fluoróforo; do coeficiente de extinção e do rendimento quântico. O coeficiente de extinção já foi apresentado anteriormente na Equação 2, ele indica o quão fortemente uma substância absorve radiação em uma determinada frequência. O rendimento quântico é definido através da divisão entre o número de fótons emitidos e o número de fótons absorvidos. Deste modo, quanto maiores ambas as constantes, maior a sensibilidade da detecção via fluorescência. Além disso, alguns parâmetros experimentais contribuem para a sensibilidade e merecem atenção, tais como a seleção do comprimento de onda para a excitação e do comprimento de onda para a medição da intensidade da fluorescência (BANICA, 2012; BORISOV; WOLFBEIS, 2008).

Diversos métodos para a medição da fluorescência podem ser utilizados em biossensores ópticos, tais como: fluorescência no estado-estacionário, fluorescência resolvida no tempo, supressão de fluorescência e transferência ressonante de energia na fluorescência (do Inglês *Fluorescence Resonance Energy Transfer* - FRET). Na fluorescência no estado-estacionário, a amostra é irradiada por um feixe de intensidade constante cuja frequência corresponde à diferença de energia entre o estado excitado e o estado fundamental. A intensidade do feixe emitido é diretamente proporcional a intensidade do feixe absorvido e, utilizando a lei de Lambert-Beer, chegamos na Equação 3 que relaciona a intensidade da fluorescência com a concentração do fluoróforo (HU; YIN; ZENG; ZHANG *et al.*, 2016).

$$F = (2,303k_f I_0 \epsilon b) c \quad \text{Equação 3}$$

Onde F é a intensidade do feixe emitido, I_0 a intensidade do feixe incidente, b o caminho óptico, ϵ o coeficiente de extinção, c a concentração do fluoróforo e k_f uma constante depende do rendimento quântico e de parâmetros físico e geométricos do sistema de medida.



Na fluorescência resolvida no tempo, um pulso muito curto da radiação é aplicado e o decaimento da fluorescência é registrado em função do tempo. O decaimento da fluorescência segue a lei de velocidade de uma reação de primeira ordem (Equação 4), consequentemente podemos obter o tempo de vida da fluorescência (DAMAYANTI; PARKER; IRUDAYARAJ, 2013; PRASAD, 2004).

$$\ln F = \ln F_0 - k_d t \quad \text{Equação 4}$$

Onde F_0 é a intensidade da fluorescência no tempo inicial, F a intensidade da fluorescência no tempo t e k_d a constante de velocidade. A natureza do decaimento de fluorescência pode revelar detalhes sobre o ambiente químico do fluoróforo. Por exemplo, diversas constantes de decaimento podem ser atribuídas ao mesmo fluoróforo em ambientes diferentes e assim, podemos utiliza-las para detecção do analito através de uma curva de calibração.

Análises envolvendo a FRET são bastante úteis em biossensores ópticos. O fenômeno consiste na transferência de energia da espécie doadora excitada (D^*) para um aceptor (A), através de um processo não radioativo. Como resultado, o aceptor desloca-se para um estado excitado no qual poderá relaxar por emissão de fluorescência em um comprimento de onda específico. A intensidade de fluorescência gerada (F) é proporcional a concentração do aceptor c_a , conforme a Equação 5 (BANICA, 2012).

$$F = k' c_{D^*} c_A \quad \text{Equação 5}$$

Onde c_{D^*} é a concentração do doador no estado excitado e k' uma constante de velocidade de transferência de energia. Este processo é fortemente dependente da distância entre as duas espécies. Além disso, o espectro de absorção do aceptor deve se sobrepor com o espectro de emissão do doador. Em um biossensor óptico baseado na FRET, podemos ter uma enzima recombinante atuando como elemento de reconhecimento, tal enzima é marcada em diferentes domínios com o agente doador e agente aceptor. Ao se ligar com o analito, ocorre uma mudança conformacional na enzima e as unidades doadores e aceptoras aproximam-se para ocorrer a FRET, que é relacionada com a concentração do analito.

Nos biossensores ópticos baseados na supressão da fluorescência, é medida a diminuição da intensidade da fluorescência de uma dada espécie, mediante contato com o agente supressor. O agente supressor atua extraindo o excesso de energia da espécie excitada, que relaxa sem a emissão de luz. A extração de energia pode acontecer por diversos processos,

tais como: reações no estado excitado, rearranjo molecular, transferência de energia, formação de complexos e supressão por colisão (CUI; ZHU; WU; HOU *et al.*, 2015).

Quando o analito de interesse atua como agente supressor, podemos determinar sua concentração através da equação de Stern-Volmer, Equação 6:

$$\frac{F_0}{F} = 1 + k_{SV}c_Q \quad \text{Equação 6}$$

Onde F_0 e F representam a intensidade da fluorescência na ausência e na presença do inibidor respectivamente, c_Q é a concentração do inibidor e k_{SV} é a constante de Stern-Volmer. Esta equação permite a determinação da concentração do inibidor por meio de uma função de calibração (PRASAD, 2004; VERDIAN-DOGHAEI; HOUSAINDOKHT, 2015).

Em 2015, Xin Cui e colaboradores publicaram um artigo sobre o desenvolvimento de um biossensor óptico para a detecção do cátion de mercúrio (II) (Hg^{2+}), baseado na supressão da fluorescência de pontos quânticos de carbono (do Inglês *carbon quantum dots* - QDs) pelo óxido de grafeno (do Inglês *graphene oxide* - GO), via FRET. O analito Hg^{2+} é um cátion metálico altamente tóxico, responsável por sérios danos à saúde dos seres vivos, principalmente aos humanos pois participa do processo de magnificação trófica. Deste modo, pesquisas relacionadas ao desenvolvimento de novas técnicas de detecção do Hg^{2+} no meio ambiente, alimentos e outros produtos devem ser priorizadas (CUI; ZHU; WU; HOU *et al.*, 2015).

O elemento de reconhecimento biológico utilizado foi um desoxirribonucleotídeo (ODN) comercial com elevado teor de timina e comprimento de 22 nucleotídeos (5'-NH₂-(CH₂)₆-TTCTTTCTTCGCGTTGTTTGTT-3'). Já é conhecido da literatura que nucleotídeos ricos em timina se ligam aos cátions Hg^{2+} com elevada especificidade para formar o complexo T- Hg^{2+} -T, resultando na auto hibridização do ODN em duplex .

Os ODNs foram acoplados, através do grupo amino da extremidade 5', aos grupos ácidos carboxílicos dos QDs; para formar o conjugado QDs-ODNs. Neste trabalho, os QDs atuam como fluoróforos.

O óxido de grafeno (GO) foi utilizado com o intuito de atuar como agente supressor da fluorescência dos QDs via FRET. Sua função é possível pois o GO é um poderoso acceptor e, além disso, adsorve facilmente os ODNs em sua superfície através da formação de interações hidrofóbicas e interações supramoleculares □-□. Esta adsorção faz com que moléculas do acceptor (GO) e moléculas do doador (QDs-ODNs) fiquem próximas o suficiente para ocorrer a FRET.



Na ausência do analito Hg^{2+} , os conjugados QDs-ODNs se adsorveram na superfície do GO e a fluorescência dos QDs é inibida. Enquanto que na presença do Hg^{2+} , os ODNs se ligam seletivamente ao cátion para formar o complexo T- Hg^{2+} -T, resultando na formação do duplex de ODNs. Esta alteração estrutural evita a adsorção dos ODNs na superfície do GO, recuperando a fluorescência dos QDs. Sendo assim, a intensidade relativa da fluorescência dos QDs em 445 nm foi utilizada como resposta à concentração do Hg^{2+} . Conforme esperado, a intensidade de fluorescência aumentou com a concentração de Hg^{2+} no intervalo de 2 a 200 nM, sendo então obtida na curva de calibração uma relação linear entre a intensidade da fluorescência relativa e a concentração do Hg^{2+} .

O biossensor apresentou um limite de detecção de 2,6 nM, sendo este maior do que o permitido pelos principais órgãos reguladores, porém pode ser possível o aperfeiçoamento no limite de detecção através da escolha mais adequada no comprimento de excitação dos pontos quânticos de carbono. Além disso, não foram encontradas interferências causadas por outros cátions metálicos que comprometam o funcionamento do biossensor e, quando o mesmo foi utilizado em amostras reais, apresentou boa concordância com o método padrão de detecção do Hg^{2+} . Deste modo, o biossensor possui grande potencial de aplicação no monitoramento do Hg^{2+} , apresentando alta seletividade, sensibilidade e rapidez na análise; até mesmo em matrizes complexas. Entretanto, novamente o marcador óptico e o elemento de reconhecimento permanecem suspensos em solução e a reutilização deste biossensor pode ser um fator limitador para a sua aplicação, já que os pontos quânticos de carbono e sondas de DNA possuem elevado custo financeiro.

MÉTODOS LIVRES DE MERCADORES ÓPTICOS

Em algumas situações, a introdução de um marcador óptico na camada de detecção pode ser um fator complicador para o desenvolvimento do biossensor e pode ser necessária a utilização dos métodos de transdução óptica livres de marcadores. A propriedade da camada de detecção mais utilizada para o monitoramento da interação entre o analito e o elemento de reconhecimento é o índice de refração.

O índice de refração é uma propriedade que descreve como ocorre a propagação da luz através de um meio. Sabemos que a velocidade de propagação da luz no vácuo é maior do que em um meio material, conseqüentemente o comprimento de onda da luz no meio material é menor, numa mesma frequência. Numericamente, o índice de refração do meio indica quanto a velocidade de propagação da luz é maior no vácuo, em relação ao meio em questão; conforme

a Equação 7. Além disso, o índice de refração nos indica quanto a luz será inclinada ou refratada no meio.

$$\eta = \frac{c}{v_p} = \frac{\lambda_0}{\lambda} \quad \text{Equação 7}$$

Onde η é o índice de refração, c a velocidade da luz no vácuo, λ_0 o comprimento de onda da luz no vácuo, v_p a velocidade de fase no meio e λ o comprimento de onda no meio (BANICA, 2012).

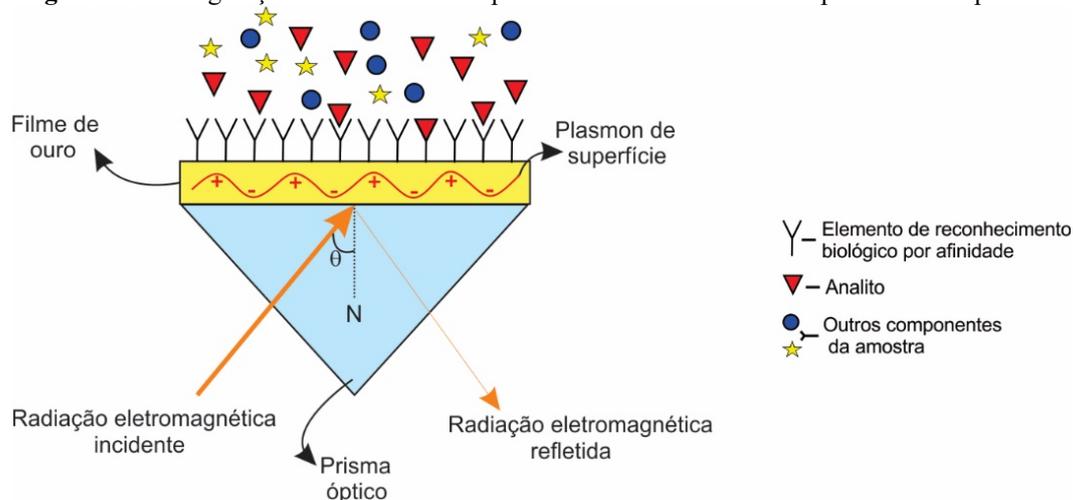
A espectroscopia de ressonância de plasmon de superfície é uma técnica que permite o monitoramento em tempo real do índice de refração de um meio. Conseqüentemente, esta técnica vem sendo amplamente utilizada em diversos biossensores ópticos livres de marcadores (SCARANO; MASCINI; TURNER; MINUNNI, 2010).

Plasmon é o termo utilizado para designar a oscilação coletiva e coerente de elétrons em um plasma, mediante aplicação de uma radiação eletromagnética com comprimento de onda específico. Esta oscilação é consequência do campo eletromagnético oscilante experimentado pelos elétrons. Plasmons também podem ser formados na superfície de certos metais, onde os elétrons fracamente ligados da banda de condução do metal absorvem energia e oscilam na mesma frequência da radiação eletromagnética incidente. Neste caso, são formados plasmons de superfície e o fenômeno é conhecido por ressonância de plasmon de superfície (SPR) (HOMOLA; YEE; GAUGLITZ, 1999).

Em muitas das aplicações da SPR, o dispositivo de detecção é utilizado na configuração de Kretschmann, (KAUR; PALIWAL; TOMAR; GUPTA, 2016) (Figura 3). Nesta configuração, o elemento de reconhecimento biológico é imobilizado sobre uma superfície metálica (usualmente ouro ou prata) que é colocada na interface entre dois meios dielétricos. O meio 1 é formado pelo prisma óptico e deve possuir índice de refração maior, já o meio 2 é formado pela solução a ser analisada. O feixe de luz viaja do meio 1 em direção ao meio 2 e se o ângulo de incidência do feixe sobre a interface for suficientemente grande, ocorre a reflexão interna total. Como consequência, ondas evanescentes são formadas no meio 2, as quais penetram na superfície de ouro de espessura apropriada. Estas ondas evanescentes são responsáveis pela excitação dos plasmons, que são acompanhados da absorção de uma fração da energia incidente e, conseqüentemente, da diminuição na intensidade da luz refletida. Caso ocorra alterações no índice de refração do meio 2, que podem ser consequência da ligação entre

o analito e o elemento de reconhecimento, a condição de ressonância para formação dos plasmons também se altera (HOMOLA; YEE; GAUGLITZ, 1999).

Figura 21: Configuração de Kretschmann para análise da ressonância de plasmon de superfície.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Deste modo, a ocorrência da SPR é dependente de dois parâmetros do feixe de luz incidente; do ângulo de incidência e do comprimento de onda. O ângulo de incidência deve ser adequado para ocorrer a reflexão interna total, cujo objetivo é formar a onda evanescente que irá penetrar no filme de ouro. Já o comprimento de onda deve possuir energia suficiente para a formação dos plasmons. Por exemplo, se o comprimento de onda for mantido constante e o ângulo de incidência for variado, observamos um mínimo na intensidade da luz refletida em um ângulo particular, chamado de ângulo de ressonância de plasmon (θ_{SPR}). Este mínimo na intensidade da luz refletida indica a absorção da energia para a formação dos plasmons. Caso ocorra uma variação no índice de refração do meio 2, que pode ser consequência da interação entre o analito e o elemento de reconhecimento biológico imobilizado sobre o ouro, observaremos a alteração no θ_{SPR} . Podemos também, manter o ângulo de incidência constante e variar o comprimento de onda, nesta configuração o comprimento de onda no qual observamos a intensidade mínima na luz refletida é chamado de comprimento de onda de SPR (λ_{SPR}), o qual também é sensível a alterações no índice de refração da camada de detecção (HOMOLA; YEE; GAUGLITZ, 1999). Sendo assim, a concentração do analito pode ser obtida mediante a realização de uma curva de calibração que relaciona a intensidade da luz refletida, alterações no índice de refração ou alterações no ângulo de ressonância de plasmon em função da concentração do analito (LIU; LIU; CHEN; CHENG *et al.*, 2015).

A SPR fornece um método de transdução óptica direto para biossensores, no qual o elemento de reconhecimento biológico pode ser quimicamente imobilizado na superfície de



ouro. Diversos biossensores já foram desenvolvidos utilizando a SPR e com elementos de reconhecimento bem variados. Atualmente, muita pesquisa vem sendo feita utilizando a microscopia de SPR (*SPRm*). A *SPRm* acopla a sensibilidade das medições do ângulo de SPR com capacidade de formação de imagens da camada de detecção, permitindo o monitoramento de diversas interações simultâneas. As imagens são formadas com base na variação da intensidade da luz refletida em um dado ângulo.

O recente trabalho publicado por Gurpreet Kaur e colaboradores (KAUR; PALIWAL; TOMAR; GUPTA, 2016), propõem o desenvolvimento de um biossensor óptico baseado na SPR para a detecção da bactéria *Neisseria meningitidis*. Esta bactéria é a principal causadora da meningite bacteriana em todo o mundo. A meningite é caracterizada pela inflamação das membranas que revestem o encéfalo e a medula espinhal, sendo essa uma doença altamente infecciosa e responsável por um alto número de óbitos em todo o mundo. Apesar disto, o diagnóstico da meningite bacteriana é bastante difícil, uma vez que os sintomas iniciais se parecem com os de uma simples gripe. Deste modo, diagnósticos rápidos e sensíveis são cruciais para a cura dos pacientes.

Como elemento de reconhecimento, foram utilizados oligonucleotídeos comerciais, que irão se hibridizar com elevada seletividade na sequência alvo presente no DNA da bactéria. O dispositivo de detecção está na configuração de Kretschmann, entretanto, foi proposta uma modificação nesta configuração tradicional visando aumentar a sensibilidade do biossensor. No lugar de imobilizar as sondas de DNA diretamente sobre a superfície de ouro (através da SAM), foi depositado sobre o ouro um filme fino de nanopartículas de óxido de zinco (ZnO) e sobre o qual foram imobilizadas as sondas de DNA. O ZnO é um material altamente biocompatível e como possui elevado ponto isoelétrico (~9,5) comporta-se como uma espécie carregada positivamente em pH fisiológico. Assim, a imobilização do DNA na superfície do ZnO ocorre via adsorção física, governada por interações eletrostáticas.

Após a caracterização estrutural de todas as camadas, foram obtidas as curvas de reflectância de SPR para os sistemas: ar/Au/Prisma, Ar/ZnO/Prisma, e DNA/ZnO/Au/Prisma, de modo a obter o Δ_{SPR} de cada camada. Os valores obtidos foram 43.54°, 46.59° e 51.29°, respectivamente. As alterações no Δ_{SPR} ocorrem devido a alteração do índice de refração conforme a camada é modificada. Na sequência foi obtida a curva de reflectância de SPR do sistema DNA/ZnO/Au/Prisma em função da concentração do DNA alvo. Conforme o esperado, ao aumentar a concentração do DNA alvo no intervalo de 10 a 180 ng. μL^{-1} , observou-se um aumento no Δ_{SPR} , que é consequência da alteração no índice de refração da camada, conforme



o analito e o elemento de reconhecimento interagem entre si. Isto é, a hibridização entre o DNA complementar e o DNA alvo ocasiona mudanças no índice de refração da camada, resultando em mudanças no ângulo e na intensidade da luz refletida.

O biossensor apresentou excelente relação linear com coeficiente de correlação de 0,996, boa sensibilidade, boa seletividade até mesmo em matrizes mais complexas, baixo limite de detecção de 0,5 ng/□L. Entretanto, o tempo de diagnóstico é menor, possibilitando o monitoramento da infecção e sem a necessidade de marcadores ópticos. Foi observado que o dispositivo montado com o filme de ZnO é mais sensível, o que pode ser atribuído a orientação mais favorável das sondas de DNA quando imobilizadas sobre o ZnO. Sendo assim, o biossensor possui grande potencial de aplicação em diagnósticos da *Neisseria meningitidis*, além de contribuir com uma nova plataforma de imobilização de sondas de DNA para biossensores baseados na SPR.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento de um biossensor é de fato uma tarefa multidisciplinar desafiadora. Essa área de pesquisa continua bastante atraente, pois muito ainda pode ser feito, como o desenvolvimento de plataformas para imobilização de biomoléculas, processos para obtenção de biomoléculas, marcadores ópticos e sistemas de amplificação de sinais.

REFERÊNCIAS

- BANICA, F.-G. **Chemical Sensors and Biosensors: Fundamentals and Applications**. 1 edition ed. Wiley, 2012.
- BORISOV, S. M.; WOLFBEIS, O. S. **Optical biosensors**. Chemical Reviews, 108, n. 2, p. 423-461, 2008.
- CHEN, C.; KE, J.; ZHOU, X. E.; YI, W. *et al.* **Structural basis for molecular recognition of folic acid by folate receptors**. Nature, 500, n. 7463, p. 486-489, 22 2013.
- COOPER, M. A. **Optical biosensors in drug discovery**. Nature Reviews Drug Discovery, 1, n. 7, p. 515-528, 2002.
- CUI, X.; ZHU, L.; WU, J.; HOU, Y. *et al.* **A fluorescent biosensor based on carbon dots-labeled oligodeoxyribonucleotide and graphene oxide for mercury (II) detection**. Biosensors & Bioelectronics, 63, p. 506-512, 15 2015.
- DAMAYANTI, N. P.; PARKER, L. L.; IRUDAYARAJ, J. M. K. **Fluorescence Lifetime Imaging of Biosensor Peptide Phosphorylation in Single Live Cells**. Angewandte Chemie-International Edition, 52, n. 14, p. 3931-3934, 2013.



FERREIRA, G. N. M.; DA-SILVA, A. C.; TOME, B. **Acoustic wave biosensors: physical models and biological applications of quartz crystal microbalance.** Trends in Biotechnology, 27, n. 12, p. 689-697, 2009.

HEINEMANB., N. J. R. H. B. H. W. R. **Electrochemical biosensors.** Chemical Society Reviews, 39, p. 1747–1763, 2010.

HOMOLA, J.; YEE, S. S.; GAUGLITZ, G. **Surface plasmon resonance sensors: review.** Sensors and Actuators B-Chemical, 54, n. 1-2, p. 3-15, 1999.

HU, R. R.; YIN, Z. Z.; ZENG, Y. B.; ZHANG, J. *et al.* **A novel biosensor for Escherichia coli O157:H7 based on fluorescein-releasable biolabels.** Biosensors & Bioelectronics, 78, p. 31-36, 2016.

HUANG, Y. K.; CHEN, X. J.; WU, S. J.; DUAN, N. *et al.* **Homogeneous time-resolved fluorescence assay for the detection of ricin using an aptamer immobilized on europium-doped KGdF4 nanoparticles and graphene oxide as a quencher.** Microchimica Acta, 182, n. 5-6, p. 1035-1043, 2015.

JAHANSHAHI, P.; SEKARAN, S. D.; ADIKAN, F. R. M. **Optical and analytical investigations on dengue virus rapid diagnostic test for IgM antibody detection.** Medical & Biological Engineering & Computing, 53, n. 8, p. 679-687, 2015.

KAUR, G.; PALIWAL, A.; TOMAR, M.; GUPTA, V. **Detection of Neisseria meningitidis using surface plasmon resonance based DNA biosensor.** Biosensors & Bioelectronics, 78, p. 106-110, 2016.

LAN, W. S.; CHEN, G. P.; CUI, F.; TAN, F. *et al.* **Development of a Novel Optical Biosensor for Detection of Organophosphorus Pesticides Based on Methyl Parathion Hydrolase Immobilized by Metal-Chelate Affinity.** Sensors, 12, n. 7, p. 8477-8490, 2012.

LEBEDEV, N.; GRIVA, I.; DRESSICK, W. J.; PHELPS, J. *et al.* **A virus-based nanoplasmonic structure as a surface-enhanced Raman biosensor.** Biosensors & Bioelectronics, 77, p. 306-314, 2016.

LEEB., R. B. R. T. C. **Biosensors.** Technology and Health Care, 19, p. 285–293, 2011.

LIU, Y.; LIU, Q.; CHEN, S. M.; CHENG, F. *et al.* **Surface Plasmon Resonance Biosensor Based on Smart Phone Platforms.** Scientific Reports, 5, 2015.

POSPISILOVA, M.; KUNCOVA, G.; TROGL, J. **Fiber-Optic Chemical Sensors and Fiber-Optic Bio-Sensors.** Sensors, 15, n. 10, p. 25208-25259, 2015.

PRABOWO, B. A.; SU, L. C.; CHANG, Y. F.; LAI, H. C. *et al.* **Performance of white organic light-emitting diode for portable optical biosensor.** Sensors and Actuators B-Chemical, 222, p. 1058-1065, 2016.

PRASAD, P. N. **Introduction to Biophotonics.** New Jersey: A JOHN WILEY & SONS, INC., PUBLICATION, 2004.

RAMANATHAN, K.; DANIELSSON, B. **Principles and applications of thermal biosensors.** Biosensors & Bioelectronics, 16, n. 6, p. 417-423, 2001.



SCARANO, S.; MASCINI, M.; TURNER, A. P.; MINUNNI, M. **Surface plasmon resonance imaging for affinity-based biosensors.** Biosens Bioelectron, 25, n. 5, p. 957-966, 2010.

SCHWARZ., M. A.; HAUSER., P. C. **Recent developments in detection methods for microfabricated analytical devices.** Lab on a Chip, 1, p. 1-6, 2001.

THEÂVENOT, D. R.; TOTH, K.; DURST, R. A.; WILSON, G. S. **Electrochemical Biosensor: Recommended Definitions and Classification.** Pure and Applied Chemistry, De Gruyter, 71, n. 12, p. 2333-2348, 1999.

VERDIAN-DOGHAEL, A.; HOUSAINDOKHT, M. R. **Spectroscopic study of the interaction of insulin and its aptamer - sensitive optical detection of insulin.** Journal of Luminescence, 159, p. 1-8, 2015.

WU, J.; CHEN, S. M.; SEEDS, A.; LIU, H. Y. **Quantum dot optoelectronic devices: lasers, photodetectors and solar cells.** Journal of Physics D-Applied Physics, 48, n. 36, 2015.



CAPÍTULO 17

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE DESIGN THINKING NA CRIAÇÃO DE JOGOS DIGITAIS SÉRIOS

DOI: 10.47402/ed.ep.c202292417974

Pedro Augusto Paladino Ribeiro
José Reinaldo Merlin
Maísa Lucia Cacita Milani
Daniela de Freitas Guilhermino Trindade

RESUMO

Os jogos digitais sérios se caracterizam como objetos de aprendizagem que oferecem uma maneira mais lúdica, dinâmica e divertida de aprender. A definição dos objetivos que devem ser alcançados em cada etapa do jogo e dos níveis de dificuldade para os diferentes perfis são algumas das dificuldades enfrentadas em seu desenvolvimento. Neste sentido, a presente pesquisa buscou analisar o modelo Design Thinking para verificar a sua aplicabilidade no desenvolvimento de jogos digitais sérios. Algumas metodologias baseadas no Design Thinking foram analisadas a fim de identificar a que fosse mais adequada para apoiar o desenvolvimento do jogo proposto, desde a criação da ideia, especificação dos requisitos, até a sua concretização. Um jogo de xadrez foi desenvolvido com base nos conceitos estudados, jogo este que será aplicado em uma ONG de assistência social e educacional, que oferece oficinas no período de contraturno para crianças e jovens em vulnerabilidade social.

PALAVRAS-CHAVE: Design Thinking, Jogo digital sério, Objeto de aprendizagem

INTRODUÇÃO

A presente pesquisa aborda a utilização da metodologia Design Thinking (DT) no apoio ao desenvolvimento de jogos digitais sérios para uso em ambientes educacionais. A ideia surgiu a partir da observação de como o educador pode diversificar as estratégias de ensino, por meio dos jogos sérios, que permitem uma maneira mais lúdica e atrativa de apresentar conteúdos.

O desenvolvimento de jogos sérios traz algumas dificuldades, como a definição dos objetivos a serem alcançados em cada etapa do jogo, do nível de dificuldade a ser exigido, dentre outros. Murakami et al. (2014) ressalta que umas das necessidades dos jogos em geral é a interdisciplinaridade que requerem, e que “o desenvolvimento dos games é híbrido porque envolve diversas etapas, como estabelecimento de roteiro de navegação, design de interface, aplicação de técnicas de animação, definição de modelo de usabilidade, programação”, dentre outros.

O Design Thinking, segundo Glaubert (2019) faz com que sejam levadas em consideração as práticas do design para alavancar estrategicamente iniciantes “na criação de



soluções ou na otimização de produtos ou serviços, porque possuem como premissa uma abordagem centrada no ser humano”.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo fazer a aplicação da metodologia de DT no desenvolvimento de jogos digitais, visando fornecer um incentivo para a criação de jogos digitais sérios de qualidade, que possam ser inseridos nas salas de aulas como estratégia motivacional.

Após o estudo sobre objetos de aprendizagem, jogos educacionais e Design Thinking, um jogo digital de xadrez foi elaborado, utilizando os conceitos de DT, desde a criação da ideia, especificação dos requisitos, até a sua concretização.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta sessão é apresentada uma breve revisão de literatura com os principais conceitos sobre objetos de aprendizagem, jogos digitais e Design Thinking.

Objetos de aprendizagem

O Objeto de Aprendizagem (OA), na definição de Gazzoni et al. (2006), é qualquer material didático digital, com característica de armazenamento e reutilização. Segundo Weller, et al., (2003), um objeto da aprendizagem é uma parte digital do material da aprendizagem que se dirige a um tópico claramente identificável ou resultado da aprendizagem e se tem o potencial reutilização em contextos diferentes.

Polsani (2003) afirma que para a criação de um objeto de aprendizagem é necessário uma série de fatores para que se possa realizar a criação de um, como conhecer a temática que se deseja trabalhar, saber a abordagem pedagógica que norteará sua concepção e uso, saber utilizar ferramentas e trabalhar de forma coerente com os princípios de projeto educacional. Singh (2001) afirma que os objetos de aprendizagem devem ser estruturados em:

- **Objetivos:** Esclarecer o tipo de objetivo pedagógico que irá ser alcançado, além de mostrar os requisitos que os alunos precisam ter para usufruir bem do material;
- **Conteúdo instrucional:** É a apresentação do material didático para que o usuário possa alcançar os objetivos propostos; e
- **Prática:** Conseguir usar o software e gerar um retorno de informações a ele, fazendo com que aprenda algo perante o aplicativo.

Ainda complementando, Cagné et al. (2005), afirma que para a criação de um OA é preciso seguir alguns princípios como: objetivos do material pedagógico; o público-alvo com

suas habilidades, conhecimentos, estilos preferenciais de aprendizagem e estilos cognitivos; interface - com vistas a maximizar a usabilidade; estratégias de interatividade; ferramentas que serão utilizadas para sua construção; e recursos humanos e financeiros disponíveis.

Moreno e Mayer (2007) descrevem alguns tipos de objetos de aprendizagem que são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1. Tipos de Objetos de Aprendizagem

Tipos de Objetos de Aprendizagem	Descrição	Autor
Jogos interativos e simulações.	Melhoram a aprendizagem baseado na Web, pois os usuários as consideram divertidas e motivadoras.	Gee (2004)
Agentes Pedagógicos.	Agem como tutores, onde podem fornecer linhas de orientação, aconselhamentos e feedbacks e apoio ao aluno.	Cassell et al (2000)
Materiais Pedagógicos.	Materiais que permitem a utilização de matérias pedagógicas, onde se usa textos e vídeos.	Beck e Marshall (2002)
Bibliotecas Digitais.	Permite acessos a bibliotecas digitais.	Dillon e Jobst (2005)

Fonte: adaptado de Moreno e Mayer (2007)

Os objetos de aprendizagem podem ser utilizados em diversos contextos educacionais, estimulando o aluno a aprender e a aplicar o que foi aprendido na resolução de problemas futuros. Este trabalho apresenta seu foco nos objetos de aprendizagem do tipo jogos interativos e simuladores. Desta forma, é proposta a criação de um jogo digital, entendido como aquele que pode ser jogado em um computador ou console.

Jogos digitais

Segundo Huizinga (2003), o jogo pode ser definido como uma atividade lúdica ampla que possui um fenômeno físico e utiliza do reflexo psicológico, sendo ainda, um ato voluntário concretizado como evasão da vida real, limitado pelo tempo e espaço, criando a ordem através de uma perfeição temporária.

Pode-se entender como um passatempo que as pessoas utilizam para se divertir e distrair do mundo real, em que podemos fazer coisas que na realidade não poderíamos. Os jogos trazem a sensação de representação, interação, conflito e segurança. Eles também possuem regras para que os jogadores possam seguir para cumprir as dinâmicas daquele mundo.



Os *games* podem possuir diversos tipos de categorias, sendo elas ação, suspense, drama, em que podemos escolher aquele que mais nos agrada. Eles também podem ser virtuais, de tabuleiros, de cartas, dentre outros. Mesmo possuindo diversos gêneros, ambos possuem a mesma proposta que é satisfazer e trazer informações que possam ser utilizadas na realidade, com as aprendizagens que obtemos no tempo passado.

Os jogos digitais, segundo Schuytema (2008), são um conjunto de atividades lúdicas formadas por ações e decisões que resultam numa condição final. Tais ações e decisões são limitadas por um conjunto de regras e por um universo, que no contexto dos jogos digitais, são regidos por um programa de computador.

Muitos utilizam dessa ferramenta no ambiente escolar, em diferentes níveis de ensino, indo desde a escola até cursos de graduação, especializações e cursos corporativos. Existem jogos que promovem ensinamentos básicos sobre linguagem e lógica para crianças que ainda estão em processo de alfabetização ou não sabem ler. Ao mesmo tempo, servem para ensinar os alunos a começarem a utilizar o computador e a desenvolverem coordenação com o mouse e teclado.

Pode-se perceber que os jogos digitais são algo amplo, e possui diversas funcionalidades, desde passar o tempo até aprender, além de poder ser moldado com as metodologias de ensino. Juntas permitem criar uma ferramenta de aprendizagem útil, que atrai o interesse, principalmente das crianças e que traz mais resultados.

Design thinking

A utilização da metodologia Design Thinking vem crescendo muito junto ao mercado, abrangendo um grande público-alvo. O DT não possui um autor específico a quem se possa atribuir sua criação. Essa metodologia também não possui um único modo de aplicação, pois cada que a utiliza consegue efetuar seu próprio “desenvolvimento”, só utilizando sua ideia e conceito para aprimorar ainda mais a sua concepção.

Segundo Cross (2011), Design Thinking é um método para resolver problemas baseado em soluções, “pensando-se”. Em vez de se iniciar com um problema, inicia-se com uma solução-base e em seguida definem-se parâmetros para se atingir o objetivo final, passando as etapas, até chegar à ideia final para implementá-la. São quatro passos “principais” que ele pode atingir, sendo eles:

- Imersão - Realização de reuniões de alinhamento da equipe de desenvolvimento com os possíveis clientes;
- Análise - Os resultados são sintetizados de forma estruturada, empregando ferramentas de organização e planejamento comuns, porém também incluindo documentos geralmente visuais e interativos;
- Ideação - Responsável pela riqueza e assertividade dos resultados pretendidos e devem, então, ser realizados com especial atenção; e
- Prototipação - A fase de prototipação contempla, em um primeiro momento, a seleção e o refino de ideias, tornando-as tangíveis através de protótipos de baixa, média e alta fidelidade.

A metodologia DT é bem ampla, pode visar muitos objetivos e se adaptar para criar diferentes modelos. Geralmente ela é utilizada para criar aplicativos, ou softwares que ajudam a resolver problemas. O DT consegue abranger uma vasta área de aplicação, como jogos, saúde, educação, dentre outros.

Hoje em dia qualquer metodologia que venha a agregar qualidade e apoiar o processo de design é bem-vinda, e uma grande vantagem do Design Thinking é que é uma ferramenta fácil de se aplicar.

Aplicações do design thinking

Foram analisados alguns modelos baseados no Design Thinking para identificar as suas características, combinações e adaptações realizadas, a fim de identificar o modelo mais adequado para a aplicação no desenvolvimento de jogos sérios.

No Quadro 2 foram resumidas algumas aplicações do Design Thinking, destacando o objetivo, a área de aplicação, as etapas e os respectivos autores.

Quadro 2. Alguns Modelos Baseados no Design Thinking

Modelo	Objetivo	Áreas de Aplicação	Etapas	Autor(es)
Modelo 3 I's	Resolver problemas com forte componente humano e social	Saúde (cuidados com a saúde) e Educação (ambientes de aprendizagem)	1. Inspiração 2. Ideação 3. Implementação	Brown, T. (2013)
Modelo para desenvolvimento de Jogos Sérios	Usar a metodologia como alternativa viável para desenvolver jogos sérios, utilizando de seus princípios de equipe e uso de ferramentas intermediárias.	Voltado para o desenvolvimento de jogos.	1. Imersão 2. Análise e Síntese 3. Ideação 4. Prototipação	Murakami et al. (2014)

Modelo de inovação nas empresas.	Formular questionamento através de apreensão ou compreensão dos fenômenos, formando perguntas que são respondidas a partir de informações que coletamos.	Voltado para auxiliar na melhoria das empresas.	1. Inspiração 2. Ideação 3. Implementação	Bonini, Luiz Alberto e Sbragia, Roberto. (2011)
Modelo de pesquisa para criação de um ambiente virtual.	Conduzir pesquisas na área de Educação a Distância visando a concepção de soluções	Educação e Ensino à distância.	1. Observar, Ouvir e Entender 2. Definir, Idealizar e Criar 3. Prototipar, testar e Implementar	Cavalcanti, Carolina. (2014)
Modelo de utilização de Design Thinking e Experiência do Usuário	Visa a participação das pessoas, suas histórias e contextos na imersão dos temas. Tem a característica otimista, construtiva e experimental essa abordagem aponta direções inovadoras focadas nas pessoas.	Visa focar nas pessoas e inovar, no seu processo.	1. Descoberta 2. Interpretação 3. Ideação 4. Experimentação 5. Evolução	Bastos, Cesar e Siqueira, Sean. (2019)

Fonte: os autores.

No Quadro 2 foram apresentadas algumas diferentes aplicações da metodologia DT que foram utilizadas para analisar qual seria a melhor metodologia para a criação de jogos digitais. Foi possível observar, a partir dos trabalhos analisados, a grande diversidade e abrangência que essa metodologia apresenta, podendo ser aplicada em diversas áreas, além de ser de fácil adaptação aos diferentes tipos de problema.

Considerando que foi encontrada na literatura uma metodologia baseada no Design Thinking adaptada para a criação de jogos digitais sérios (Murakami et al., 2014), esta foi a escolhida, pois atendia aos objetivos pretendidos.

DESIGN THINKING NA CRIAÇÃO DE JOGOS DIGITAIS SÉRIOS

A partir das análises realizadas, o modelo selecionado para a aplicação nesta pesquisa foi o modelo de Murakami et al. (2014), o qual apresenta a metodologia Design Thinking (DT) como alternativa viável para o desenvolvimento de jogos sérios, orientando e adaptando o seu uso em todo processo de criação. As orientações e adaptações propostas por estes autores para aplicação das etapas do Design Thinking na criação de jogos sérios são apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3. Adaptações e orientações propostas por Murakami (2014) ao modelo Design Thinking

Adaptações propostas por Murakami (2014)	Descrição	Etapas do DT que podem ser aplicadas
Equipe multidisciplinar	Utilização de uma equipe multidisciplinar para os workshops de criação.	Imersão, Análise e Síntese, Ideação e Prototipação.
Instrumentos intermediários	Utilização de instrumentos visuais e interativos para a materialização das ideias	Imersão, Análise e Síntese

Criticidade	É importante ter na equipe pessoas com postura crítica para encontrar possíveis falhas, e corrigir conseguindo alcançar o objetivo final.	Ideação
Contato direto com os jogadores	Trabalhar com o público-alvo para ver se a ideia pensada irá se adequar ao seu perfil. Se for necessário será possível modificar a ideia proposta inicial de acordo com o <i>feedback</i> recebido.	Imersão
Criação de protótipos em vários níveis	Realização protótipos em diferentes níveis para apoiar a codificação.	Prototipação
Criação de versão utilizável do game	Utilização de uma versão beta que permita o usuário ter a sensação de poder jogar, e conseguir utilizar a versão final.	Implementação

Fonte: os autores.

As principais adaptações propostas por Murakami et al. (2014), estão relacionadas à fatores importantes para o desenvolvimento de jogos, uma vez que diferentes competências são requeridas para o design, por exemplo, com relação à parte pedagógica, aos aspectos cognitivos explorados pelo jogo e com relação ao perfil de jogadores.

O autor desta pesquisa, associou as sugestões propostas por Murakami et al. (2014) a cada fase do modelo de DT que seriam pertinentes de aplicar, conforme apresentado na última coluna do Quadro 3. Um estudo de caso com a aplicação de cada etapa do desenvolvimento de um jogo de Xadrez será apresentado nas seções seguintes.

Desenvolvimento de um jogo de xadrez a partir do modelo DT

A partir das adaptações e orientações propostas por Murakami et al. (2014), na criação de um jogo sério, foi proposto um jogo de Xadrez. O jogo pretende auxiliar uma ONG de assistência social e educacional que atende crianças e adolescentes com idade entre 8 e 13 anos. Na ONG são desenvolvidas oficinas de artes, informática, música, xadrez, dentre outras.

Alguns projetos de extensão da UENP foram desenvolvidos junto à esta instituição, quando foi possível verificar a necessidade e oportunidade de criação de um objeto de aprendizagem que pudesse auxiliar o público-alvo da ONG. Assim, buscou-se utilizar a metodologia DT para apoiar a geração de ideias e a especificação de um jogo digital que fosse adequado a este público-alvo.

Para colocar em prática a metodologia, será detalhada a implementação de cada etapa: imersão, análise e síntese, ideação e por último prototipagem.

Implementação da fase de imersão

A primeira etapa e uma das mais importantes é a imersão, a fase em que se iniciam as discussões e são definidos os primeiros requisitos da proposta. Nesta etapa foram realizadas



duas reuniões com a participação de dois membros que atuam na ONG, um especialista de xadrez e o orientador e o autor desta pesquisa. As duas primeiras reuniões tiveram como objetivo conhecer os participantes do processo de criação, organizar a agenda para as próximas reuniões de trabalho, capturar o perfil dos participantes da ONG e conhecer as suas maiores dificuldades e potencialidades. As reuniões seguiram a dinâmica:

1º Passo:

Inicialmente a orientadora fez uma explanação sobre o objetivo da reunião e apresentou cada participante, para que todos se conhecessem. Os alunos atuantes na ONG, destacaram a sua função no projeto, o especialista falou um pouco de sua experiência com o xadrez e na sequência o desenvolvedor desta pesquisa apresentou um roteiro para início dos trabalhos.

2º Passo:

Foi realizada uma série de perguntas sobre o ambiente da ONG para conhecer o perfil dos participantes. As perguntas utilizadas foram:

- Qual é a estrutura da ONG (equipamentos, computadores, internet)?
- Qual é o conhecimento das crianças sobre o xadrez?
- Como é o interesse e aprendizagem dos alunos para o xadrez?
- As crianças prestam atenção no momento da explicação do jogo de xadrez?

3º Passo:

Neste passo foram realizadas discussões a fim de alavancar as primeiras ideias para a definição do escopo do projeto. Foram realizadas sugestões para a criação do jogo, como:

- Criação de um jogo que ensina os usuários a movimentarem e entenderem as peças de xadrez uma de cada vez;
- Elaboração de um aplicativo de vídeo mostrando jogadas básicas do xadrez e a movimentação, dentro do jogo;
- Desenvolvimento de um jogo de perguntas e respostas para que as crianças pudessem colocar em prática tudo o que foi visto a partir dos textos selecionados;
- Montagem de um tabuleiro humano e online para mostrar o entendimento de como funciona uma partida de xadrez.

4º Passo:

Identificação de necessidades e oportunidades que poderiam nortear a criação do jogo para ensinar xadrez. Após se ter uma base mais concreta sobre como seria o funcionamento do jogo, foram realizadas as seguintes perguntas:

- Como realizar a montagem do jogo?
- Que coisas poderiam ser acrescentadas a mais no projeto?
- Como seria ensinado o movimento das peças?
- A utilização de vídeos poderia auxiliar na explicação?
- Quais os tipos de softwares que poderiam ser utilizados para formalizar a ideia?

As reuniões foram bem importantes para o desenvolvimento da proposta, foi possível compreender o perfil das crianças e jovens que frequentam a ONG e seus comportamentos, ligados à aprendizagem.

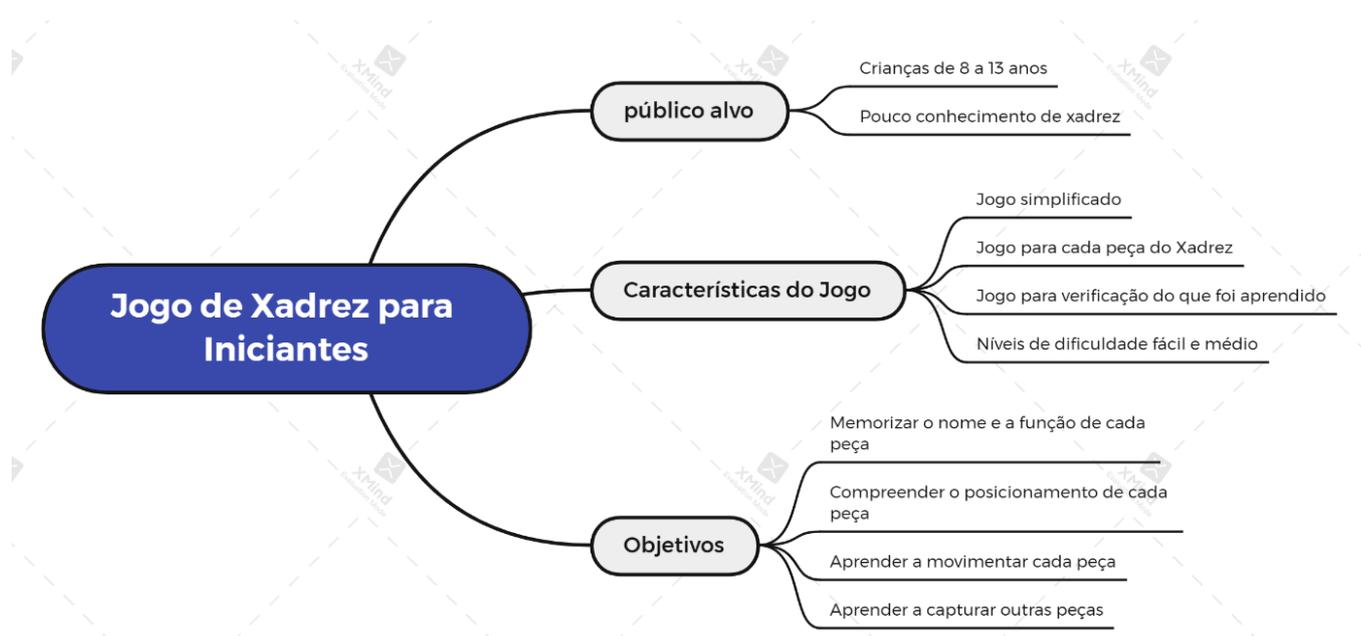
Foi possível obter muitas informações úteis, que foram utilizadas nas próximas etapas. O especialista em xadrez indicou alguns livros e websites voltados para este tipo de jogo para orientar o processo de criação.

Análise e síntese

As próximas etapas são as de análise e síntese. Nestas etapas foi preciso analisar todos os dados colhidos, organizar e compilar as informações que descreveram os requisitos do jogo proposto. Esta fase permitiu evoluir para a idealização do jogo para o ensino de xadrez, e contou com a participação de mais um integrante, um aluno de Ciência da Computação, que colaborou com sugestões e orientação sobre o uso das tecnologias que poderiam ser utilizadas no desenvolvimento do jogo digital.

Na fase de Imersão foi identificada a área de aplicação e alguns requisitos iniciais do jogo, já nas fases de análise e síntese, a partir dos dados coletados, foram geradas informações relevantes e formalizadas as principais ideias do jogo. O mapa conceitual, apresentado na Figura 1, apresenta os principais conceitos e características extraídos da fase de Imersão.

Figura 1 - Mapa conceitual do Jogo de xadrez para iniciantes.



Fonte: os autores.

A partir dos dados coletados nas reuniões, foi proposto o desenvolvimento de um jogo básico de xadrez que permitisse ensinar as crianças, que tiveram pouco contato com este jogo, de maneira simplificada, lúdica e interativa, separando o aprendizado de cada peça. O jogo deveria trabalhar o Reconhecimento das peças do jogo, a Movimentação, o Posicionamento e a Captura. Cada eixo do mapa conceitual é detalhado na sequência.

O jogo seria desenvolvido para a faixa etária de 8 a 13 anos, para que esse público pudesse ter seus primeiros aprendizados sobre o xadrez. Normalmente os jogos possuem níveis de dificuldades, podendo ser fácil, médio e difícil, com relação ao nosso público-alvo foi definido o nível de dificuldade “fácil”, pensando em produzir o conhecimento básico sobre o funcionamento do xadrez.

O objetivo do jogo é ensinar xadrez de um jeito simples. Ao todo são propostos cinco jogos, sendo que o 4 primeiros apresentam nível de dificuldade “fácil” e o último nível de dificuldade “médio”. Os jogos possuem um mesmo princípio, introduzir o usuário à prática do xadrez.

- O primeiro jogo explora conhecer e identificar cada peça, compreendendo a sua função, fazendo com que toda vez que a criança enxergar essa peça já possa associar as suas características;
- O segundo jogo trata do posicionamento da peça, cujo retorno será de memorização e associação em partidas reais;

- 
- O terceiro jogo tem o intuito de trabalhar a movimentação da peça, no qual espera-se que o usuário aprenda sobre os possíveis movimentos da peça para conseguir realizar jogadas básicas;
 - O quarto jogo objetiva demonstrar como é feita a captura das peças, para que o jogador consiga avançar e atingir o objetivo final do jogo; e
 - Por último, o quinto jogo com dificuldade média, pretende colocar em prática tudo o que foi aprendido sobre cada peça, utilizando todos os movimentos possíveis, buscando encontrar o melhor caminho a seguir até chegar ao seu objetivo final. Neste jogo o usuário tem que levar uma das peças (ex. peão) até o troféu evitando obstáculos, que possam atrapalhar sua caminhada.

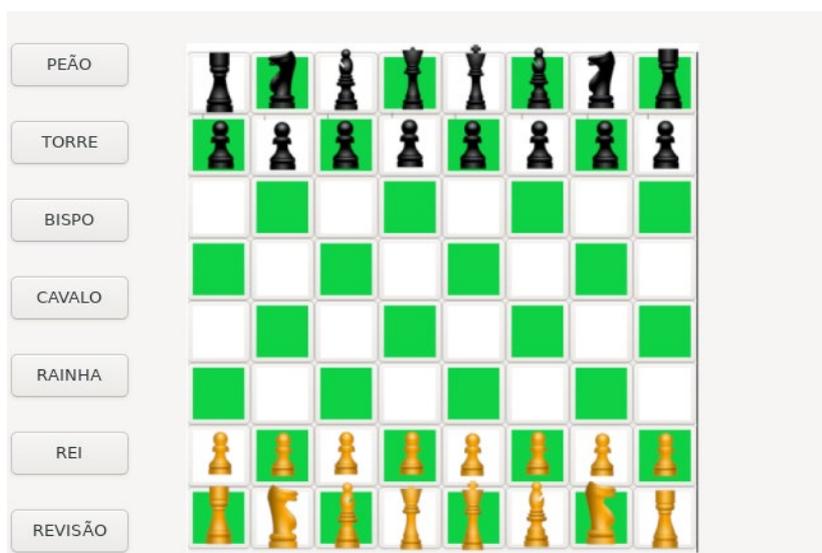
Ideação e prototipação

A terceira etapa é a de ideação, na qual deve-se ampliar e idealizar de forma mais completa a proposta do jogo para dar suporte à criação do protótipo. Mas o que é a parte de prototipação? É um primeiro momento, pode-se dizer que é a seleção e o refino de ideias, tornando-as visíveis por meio de representações gráficas, chamadas protótipo, que podem ser de baixa, média e alta fidelidade, sendo possível assim chegar ao produto desejado, verificando pontos que possam ser adaptados futuramente.

Para realizar o desenvolvimento do protótipo foram utilizadas algumas ferramentas para que fosse possível chegar à ideia final. Como linguagem principal foi utilizada a Linguagem de Programação Python, a biblioteca GTK +3 e uma ferramenta que possui compatibilidade com essa biblioteca, o Glade, utilizado para criar a parte gráfica e visual do programa. Além dessas ferramentas foram utilizados dois editores de imagens, o Adobe XD e o Paint 3D, ambos foram utilizados para fazer edições nas imagens que estão presentes no jogo. Juntando todas as informações obtidas foi possível implementar o protótipo do jogo educativo voltado para o xadrez.

Na tela inicial o jogador poderá iniciar o jogo ou clicar em sobre o jogo para saber sobre a criação do jogo. Clicando na opção “SOBRE” terá informação sobre autores e objetivo do jogo. Ao clicar em iniciar o usuário dará prosseguimento ao jogo, e terá acesso ao menu de seleção (Figura 2). No menu de Seleção, o usuário terá acesso a todas as peças de xadrez para que possa escolher uma peça e aprender mais sobre ela.

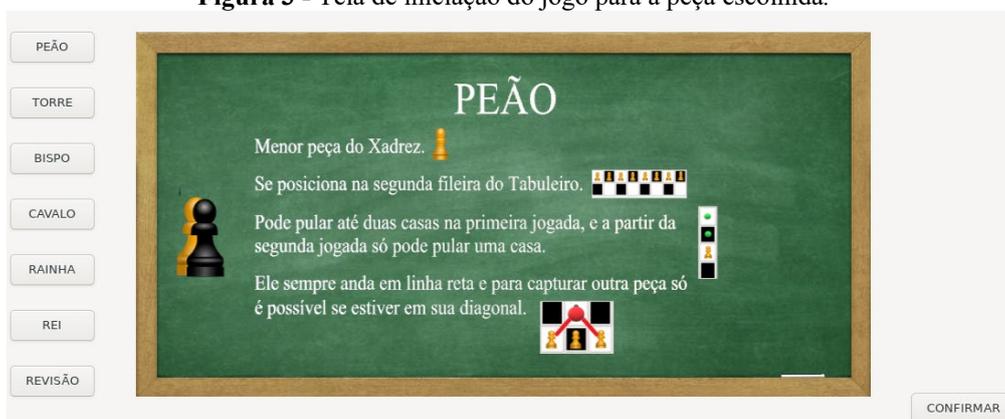
Figura 2 - Tela de seleção



Fonte: os autores.

Ao selecionar a peça, o jogador poderá verificar como é o seu formato e aprender sobre a sua função. Após a seleção da peça, o jogador entrará no jogo e fará uma pequena leitura para compreender sobre a forma de movimentação e a função da respectiva peça (Figura 3). Na sequência será direcionado a uma série de minijogos, para aprender e praticar de forma dinâmica sobre cada peça do xadrez. Para cada peça, são apresentados 4 jogos, de modo a auxiliar no processo de compreensão, memorização e raciocínio.

Figura 3 - Tela de iniciação do jogo para a peça escolhida.



Fonte: os autores.

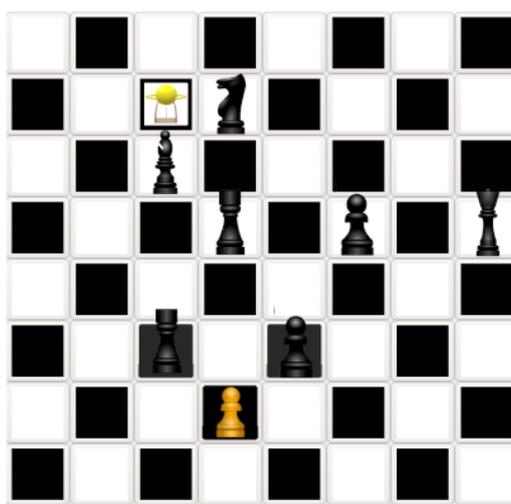
O primeiro jogo, que tem como foco a memorização do nome da peça e da sua função, para que possa saber identificar futuramente qual peça é aquela. Após o usuário memorizar o formato da peça e o seu nome ele será encaminhado para o segundo jogo, no qual ele irá aprender sobre o seu posicionamento no início da partida e objetivo final. No terceiro jogo, ele irá para uma das partes mais importantes, aprender sobre a movimentação correta da peça. O intuito desse jogo é mostrar possíveis movimentos que a peça pode fazer, para que no futuro

consiga raciocinar e tomar as decisões corretas no jogo. O quarto jogo, corresponde ao último do modo básico (nível fácil), o qual demonstra ao usuário o movimento de captura de cada peça. Neste jogo é dado destaque à ação de captura de peça adversária.

Pretende-se com todos esses jogos introduzir as crianças aos princípios básicos do xadrez que são Reconhecimento (Jogo 1), Posicionamento (Jogo 2), Movimentação (Jogo 3) e Captura (Jogo 4), com essas quatro bases é possível que o usuário tenha uma introdução ao conhecimento do jogo.

Além dos quatro jogos básicos, sobre cada peça, pensando em estimular ainda mais o raciocínio e uma maneira de deixar ainda mais interessante a aprendizagem, é apresentado o quinto jogo, um puzzle de labirinto com as peças juntas para que ele consiga chegar até o final e conquistar a coroa, conforme apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Tela Jogo Interativo



Fonte: os autores.

No último jogo (Figura 4) é apresentado o tabuleiro para que o jogador possa praticar tudo o que aprendeu e observou com os outros minijogos, fazendo com que ele coloque em prática tudo o que foi aprendido até que consiga concluir a fase e alcançar o troféu.

Verificação da aplicabilidade do modelo DT para o desenvolvimento do jogo de xadrez

A fim de verificar a aplicabilidade do modelo de Design Thinking com as orientações propostas por Murakami (2014), serão apresentadas para cada etapa do Design Thinking as ações realizadas, conforme o modelo utilizado.

No Quadro 4 é apresentada a relação entre as Etapas do Design Thinking com as adaptações de Murakami (2021), e um resumo de como foi a aplicação destas etapas nesta pesquisa.

Quadro 4. Aplicação do Modelo Design Thinking no Desenvolvimento de um Jogo de Xadrez.

Etapas do Design Thinking	Adaptação de Murakami (2014)	Aplicação na Pesquisa
Imersão, Análise e Síntese, Ideação e Prototipação	Equipe multidisciplinar	- A equipe foi formada com diferentes especialidades. - Foi obtido o conhecimento sobre o perfil do público-alvo.
Imersão	Contato direto com os jogadores	- Com o apoio de questionários, foram levantadas as principais dificuldades para o aprendizado do Xadrez.
Imersão, Análise e Síntese	Uso de Instrumentos intermediários	- Foram coletados os requisitos iniciais do jogo com o apoio do questionário. - Foi desenvolvido um mapa conceitual com as principais ideias do jogo.
Ideação	Criticidade	- Foram formalizadas a descrição e os objetivos do jogo. - A equipe contribuiu para o refinamento das ideias do jogo, sugerindo a criação de mais 1 jogo que anteriormente não estava previsto.
Prototipação	Criação de protótipos em vários níveis	- Foram desenvolvidos os protótipos para os diferentes jogos propostos.
Implementação	Criação de versão utilizável do jogo	- Após a aplicação do protótipo, junto ao público-alvo, será criada a versão utilizável do jogo.

Fonte: os autores.

Na etapa de Imersão, foram realizadas reuniões com participantes com conhecimentos **multidisciplinares**: 2 colaboradores da ONG ACAUEM; um especialista em Xadrez, o desenvolvedor desta pesquisa e sua orientadora. Com a pandemia, não foi possível **conhecer diretamente o público-alvo**, pois as atividades da ONG foram suspensas, porém, os dois colaboradores já atuavam na ONG ACAUEM há pelo menos três anos, possuindo bastante conhecimento sobre o público-alvo.

Nas etapas de Imersão, Análise e Síntese foram utilizados alguns **instrumentos de apoio para a coleta** e organização das informações. Para a coleta do perfil do público-alvo, principais dificuldades apresentadas e oportunidades observadas foi utilizado um **questionário** que direcionou as reuniões iniciais. Para a organização da informação obtida foi elaborado um **mapa conceitual**, demonstrado na Figura 2.

A **criticidade** esteve presente, principalmente na etapa de Ideação, uma vez que já se tinha uma visão mais bem elaborada dos Jogos de Xadrez. Assim, a partir das ideias principais, os participantes do processo de Design Thinking puderam discutir e apontar necessidades, como a de inclusão de mais jogo para combinar todo o aprendizado dos jogos anteriores. E, por fim,



na fase de prototipação, a partir das tecnologias selecionadas, foram desenvolvidos protótipos nos diferentes níveis e etapas do jogo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi necessário o estudo para entender sobre o Design Thinking, desde os seus princípios, sua criação e como funciona cada etapa, o que ela pode oferecer e o que ela não consegue oferecer e o que deveria ser executado em cada fase para que se pudesse aplicar com êxito.

Ao realizar as pesquisas sobre o DT, foi percebido como é possível adaptá-lo para a resolução de diferentes tipos de problemas, conseguindo abranger diversas áreas que não possuem conexão entre si, podendo auxiliar tanto na área da educação quanto na área empresarial, permitindo idealizar o conceito e aplicar conforme cada necessidade.

Para conseguir concluir qual seria o melhor modelo para utilizar no desenvolvimento foram estudados diversos tipos de modelos baseado no Design Thinking, que poderiam ser compatíveis com nossa ideia. Após diversas análises foi possível selecionar a que mais se identificou com nosso conceito que foi o de Murakami et al. (2014), no qual o autor realiza adaptações para que consiga produzir um jogo a partir das etapas do DT.

Após o estudo sobre esses assuntos que norteiam o projeto, foi colocado em prática o processo de criação de um jogo digital de Xadrez a partir do modelo do Design Thinking voltado para o desenvolvimento de jogos sérios.

O processo teve início na fase de Imersão, na qual se buscou criar uma equipe multidisciplinar, e realizar reuniões para que fosse possível conhecer o perfil do público alvo e verificar possíveis objetivos que poderiam ser aplicados no jogo. Em seguida foi dado início a etapa de Análise e Síntese, na qual se buscou reunir todas as informações coletadas em um mapa conceitual para organizar toda informação obtida. Logo após essa segunda fase, foi dado início a fase de Ideação, na qual foi realizada a montagem do jogo inserindo seus componentes e regras, orientando a fase de Prototipação, na qual foram realizadas as montagens dos protótipos que apoiarão a implementação da versão final do jogo.

Ao longo de todas as etapas, foi possível identificar como o Design Thinking e, também, as adaptações propostas por Murakami (2014), contribuíram no processo criação e design do jogo, orientando cada etapa para que seus objetivos fossem atingidos.



Uma limitação encontrada nesta pesquisa foi o fato de as atividades da ONG, na qual seria testado o Jogo de Xadrez, foram suspensas devido à pandemia de COVID-19, impedindo a interação entre os participantes desta pesquisa e seu público-alvo. Outra etapa comprometida pela pandemia foi a de Validação do Jogo junto às crianças da ONG, o que se sugere realizar em trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Eliane Vigneron Barreto; FLÔRES, Maria Lucia Pozzatti. **Objetos de Aprendizagem: Teoria e Prática**. Ebook, 2014.

AMORIM, Ana Gonçalves Gomes. **Processos criativos sistemáticos como fator chave para a diferenciação de empresas: Abordagem do Design Thinking**. Miete, 2013.

BASTO, Cesar A. R.; SIQUEIRA, Sean, W. M. **Uma Iniciativa de Formação Docente em Design Instrucional sob os enfoques de Design Thinking e Experiência do Usuário**. Revista Eletrônica: Anais do Workshop de Informática na Escola, 2019.

BONINI, Luiz Alberto; SBRAGIA, Roberto. **O modelo de design thinking como indutor da inovação nas empresas: Um estudo empírico**. Revista Eletrônica: Gep, 2011.

BRUSSI, Maria Thais Chaves Escobar. **O Design Thinking como metodologia no processo de escolha e uso dos instrumentos de Comunicação Organizacional**. Universidade de Brasília, 2014.

GAGNÉ, R.; WAGER, W.; GOLAS, K.; KELLER, J. **Principles of instructional design**. Toronto: Thomson Wadsworth, 2005.

CAVALCANTI, Carolina Magalhães Costa. **Design Thinking como metodologia de pesquisa para concepção de um ambiente virtual de aprendizagem centrado no usuário**. Revista Eletrônica: SIED Simpósio Internacional de Educação a Distância, 2014.

ESTUDANTE, Guia. **O que são jogos digitais**. Disponível em <<https://statics-shoptime.b2w.io/sherlock/books/firstChapter/116914795.pdf>>. Acesso em 23/04/2021.

GAZZONI, Alcibiades et al. Proporcionalidade e Semelhança: aprendizagem via objetos de aprendizagem. Revista Novas Tecnologias na Educação. Vol. 4. Nº 2 dezembro , 2006 .(ISSN 1679-1916). UFRGS, 2006. Disponível em: <<http://www.cinted.ufrgs.br/renoteold/dez2006/artigosrenote/25179.pdf>> Acesso em 23 out. 2021.

GLAUBERT, Daphna; CHARLESWORTH Zarina; NYFELLER, Nathalie; BERGERON, Luc. **Design practices for strategic innovation in start-ups**. 2019.

HUIZINGA, J. **Homo ludens: o jogo como elemento da cultura**. 5o. ed. São Paulo: Perspectiva, 2003.

LUCCHESI, Fabiano; RIBEIRO, Bruno. **Conceituação de Jogos Digitais**. FEEC.



MONTEIRO, Bruno de S; CRUZ, Henry Pôncio; ANDRADE, Mariel; GOUVEIA, Thiago; TAVARES, Romero; ANJOS, Lucídio F. C. dos. **Metodologia de desenvolvimento de objetos de aprendizagem com foco na aprendizagem significativa**. Revista Eletrônica: SBIE, 2006.

MORENO, R., MAYER, R. **Interactive Multimodal Learning Environments**. Educ Psychol Rev 19, 309–326 (2007). <https://doi.org/10.1007/s10648-007-9047-2>

MURAKAMI, Luiz Carlos; LEITE JUNIOR, Antônio José Melo; SABINO, Rodolfo Felipe Sganzerla; MACEDO, Diego Almeida. **Design Thinking como metodologia alternativa para o desenvolvimento de jogos sérios**. Revista Eletrônica: Nuevas Ideas en Informática Educativa TISE, 2014.

POLSANI, P. Use and Abuse of Reusable Learning Objects. Journal of Digital Information. V. 3, n. 164. Fev. 2003.

SAVI, Rafael; ULBRICH, Dra Vania Ribas. **Jogos Digitais Educacionais: Benefícios e Desafios**. Revista Eletrônica: Renole, 2008.

SCHUYTEMA, P. **Design de Games: uma abordagem prática**. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

SILVA, Isabel Cristina Siqueira da; BITTENCOURT, João Ricardo. **Proposta de metodologia para o ensino e o desenvolvimento de jogos digitais baseadas em design thinking**. Revista Eletrônica: Educação Gráfica, 2017.

SINGH, H. **Introduction to Learning Objects**. 2001. Disponível em <www.imsproject.org/content/packing/ims-cp-bestv1p1.html>. Acesso em 23 out. 2021.

TAROUCO, Liane Margarida Rockenbach; KONRATH, Mary Lucia Pedroso; CARVALHO, Marie Jane Soares; AVILA, Bárbara Gorziza. **Formação de professores para produção e uso de objetos de aprendizagem**. CINTED - UFRGS, 2006.

TEIXEIRA, Jeane Silva F.; SÁ, Eveline de Jesus V.; FERNANDES, Clóvis Torres. **Representação de Jogos Educacionais a partir do Modelo de Objetos de Aprendizagem**. Revista Eletrônica: WIE, 2007.

WELLER, M.; PEGLER, C.; MASON, R. **Putting the pieces together: What working with learning objects means for the educator**. In: Proceedings of the Second eLearnInternational World Summit, Edinburgh International Conference Centre, Edinburgh, Scotland. 2003.

CAPÍTULO 18

INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA DE UM RESÍDUO DA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS NA ADSORÇÃO DO CORANTE ASTRAZON AZUL FGGL 300%

DOI: 10.47402/ed.ep.c202292518974

Tainan Miguel
Ivonete O. Barcellos

RESUMO

A adsorção é um dos processos mais utilizados na remoção de corantes devido a facilidade de manuseio, baixo custo, eficiência e ambientalmente mais amigável. Neste trabalho foi avaliada a eficiência de um adsorvente alternativo para adsorção de uma classe de corante têxtil (básico Astrazon Azul FGGL 300 %), sendo o principal objetivo desse trabalho. O adsorvente testado trata-se de um resíduo gerado em grande volume pela empresa Bunge, oriundo dos processos de clarificação do óleo vegetal (RC). Na adsorção avaliou-se quatro parâmetros significativos: concentração do adsorvente, a temperatura, granulometria do adsorvente (63 μ m, 90 μ m) e o tempo de contato do adsorvente com o corante. Foram preparadas soluções contendo 50mL de água destilada com 0,005g de corante e quantidades variadas de adsorvente (0,125; 0,25; 0,5; 0,75g) sob agitação constante de 130rpm. Foi obtido o valor de eficiência (%) em função dos parâmetros citados acima, superiores a 97% e tempo máximo variando de 6h a 12h, com maior eficiência e menor tempo para 63 μ m (0,5g). O monitoramento cinético mostrou duas etapas, sendo que a etapa predominante e mais lenta seguiu o modelo de pseudo 2ª ordem, onde o K_{obs} para 0,125 a 0,75g de adsorvente 63 μ m de granulometria, variou de 41,06 a 10341,4g.mol⁻¹.min⁻¹ de 20 a 40°C, e os valores de E_a , ΔH^* e ΔS^* variam de 59,29 a 339,62KJ.mol⁻¹, 46,68 a 292,87KJ.mol⁻¹ e 8,11 a 812,5 J.mol⁻¹.K⁻¹, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: Adsorção, Adsorvente, Argila Bentonita, Corante básico, Resíduo Industrial

INTRODUÇÃO

O setor têxtil é um dos mais antigos e tradicionais segmentos industriais. Caracteriza-se por um elevado consumo de água e geração de grandes volumes de efluentes líquidos, os quais apresentam altas concentrações de corantes e outros produtos químicos como sais, bases, tensoativos, entre outros (CRISTINA *et al.*, 2013).

Existem diferentes métodos utilizados no tratamento de efluentes têxteis, sendo um deles, a adsorção. Na última década aumentou a procura por materiais adsorventes de baixo custo. A utilização de resíduos agroindustriais como adsorventes é uma alternativa ambientalmente correta e econômica para a descontaminação de efluentes com corantes (ALBORNOZ, 2015).

A adsorção é um fenômeno físico de superfície no qual uma substância é extraída de uma fase e concentrada em outra. O material adsorvido é denominado adsorvato e o material



onde ocorre a adsorção é denominado adsorvente (ATKINS, 2010). A adsorção é uma técnica utilizada em processos de descontaminação de efluentes, na qual o contaminante presente na fase líquida é adsorvido por um material adsorvente. O adsorvente comercial mais utilizado é o carvão ativado, ele possui uma alta capacidade de adsorção devido a sua área superficial, tamanho e volume dos poros. Porém, possui um custo e limitação para algumas classes de corantes têxteis, sendo este um dos fatores pelos quais vêm sendo estudados adsorventes alternativos e de fontes variadas (CORT *et al.*, 2018; BARCELLOS *et al.*, 2015; RAYMUNDI, 2015; YANG *et al.*, 2014).

As argilas vêm sendo utilizadas e estudadas, como possível substituto do carvão ativado como adsorvente para a remoção de corante de soluções, pelo fato de ser uma alternativa mais econômica, se for reaproveitada (MARCHI *et al.*, 2015). Entretanto uma argila em seu estado natural normalmente apresenta pouco poder adsorvivo, porém se ativada, onde as características iniciais são alteradas pode apresentar um alto poder descolorante (MITTERSTEINER *et al.*, 2017).

Mendes realizou um estudo de remoção do corante reativo Direct Orange 2GL pelo método de adsorção, usando diferentes concentrações de biomassa de “*S. cerevisiae*” e valores de pH em solução. O experimento foi analisado a partir do gráfico de isotermas de adsorção, visando avaliar a capacidade máxima de adsorção do corante na parede celular da levedura. O tratamento matemático utilizou como modelo as equações de Langmuir e Freundlich. Os autores observaram que a utilização de biomassa de “*S. cerevisiae*” propicia resultados relevantes, mesmo a baixas concentrações de adsorvente, desde que ajustado os valores de pH em solução (MENDES, 2015).

A quantidade de resíduos gerados e a necessidade de dispor estes de forma adequada, a fim de evitar danos ou riscos à saúde pública e a segurança, bem como a minimização de impactos ambientais, atendendo assim a política nacional de resíduos sólidos, tem despertado certa preocupação por parte de algumas empresas. Isto porque para as indústrias de processamento, os resíduos gerados acarretam um elevado custo para sua disposição, havendo então interesse em reduzir a quantidade desses, seja na otimização do processo ou mesmo no beneficiamento do resíduo gerado, para reinserção como insumo no processo produtivo (ALBERTI *et al.*, 2014).

MATERIAIS E MÉTODOS

Adsorvente e adsorvato

Na preparação do adsorvente, primeiramente, o resíduo industrial de clarificação de óleo vegetal (RC) a base de argila bentonítica, adquirido através de uma doação da empresa Bunge, foi seco em estufa à 80°C por 24h. Após secagem, foi passada em peneiras de controle granulométrico para separação e definição da granulometria (170 e 230Mesh). Na etapa de peneiração selecionaram-se duas granulometrias por estarem em maior quantidade que são 63 e 90µm, conforme Figura 1a. Após esta etapa, não foi realizado nenhum tratamento químico, sendo utilizada “in natura” (na forma bruta), apenas deixado em estufa a 80°C até massa constante, para posterior uso como, adsorvente. Na determinação do pH segundo a norma NBR 10677/1989 variou entre 3,78 a 3,90 indicando ser de natureza ácida, característica das argilas catiônicas.

Para avaliação de eficiência na remoção de cor utilizamos como adsorvato o corante Astrazon Azul FGGL 300% sem tratamento prévio, sendo este básico, cedido pela empresa Dystar (Figura 1b). Este corante é comumente utilizado para o tingimento de fibras acrílicas. Com a solução aquosa padrão do corante foi determinado comprimento de onda de máxima absorção ($\lambda_{\text{máx}}$) em 604nm.

Figura 1a: Adsorvente (RC) com diferentes granulometrias A e B são antes da adsorção e A' e B' depois da adsorção, (2b) Representação da estrutura do corante Astrazon Azul FGGL 300%

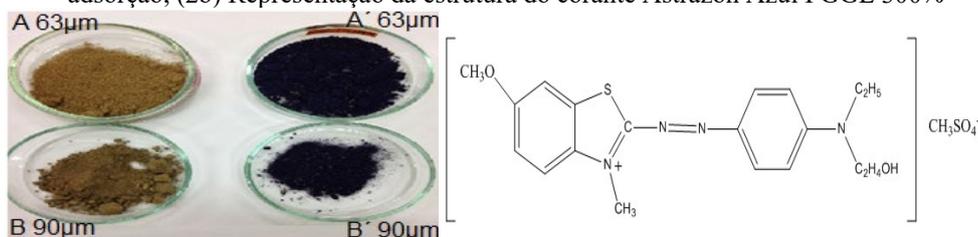


Figura 1a

Figura 1b

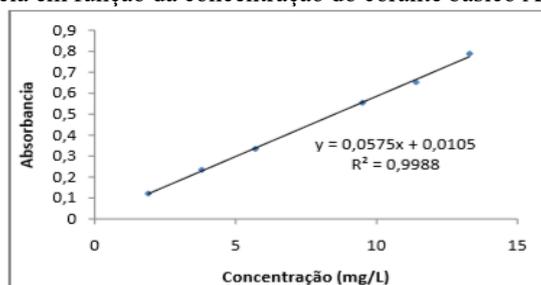
Fonte: A Autora, 2021.

Preparação da curva analítica

A partir de uma solução mãe, foram preparadas seis diluições para construção da curva analítica, conforme Figura 2.

A equação da reta obtida da regressão linear da curva analítica foi $Abs = 0,0575x + 0,0105$ com $r^2 = 0,9988$, permitiu relacionar a absorvância da solução com a concentração do corante de acordo com a Lei de Lambert Beer. O instrumento utilizado para as leituras das absorvâncias em 604nm, foi o espectrofotômetro UV-Vis Shimadzu UV-1800.

Figura 2: Gráfico da absorbância em função da concentração do corante básico Astrazon Azul FGGL, em 604nm.



Fonte: A Autora, 2018.

Determinação da eficiência do adsorvente

Para determinar eficiência na remoção da cor, utilizando o RC como adsorvente, foi preparado em solução contendo 50mL de água destilada colocada em um erlenmeyer contendo 0,005g de adsorvato. A quantidade de adsorvente variou de 0,125g a 0,75g, nas diferentes granulometrias. As soluções foram mantidas em banho descontínuo termostatizado do tipo agitação orbital Dubnoff da marca Marconi e modelo M-093. As leituras de absorbância da solução em contato com adsorvente foram feitas no espectrofotômetro UV-Visível Shimadzu 1800 até tempo infinito, ou seja, absorbância constante, que permitiram determinar a eficiência (%) na remoção do corante da solução.

Estudo cinético da remoção do corante

O estudo cinético da remoção do corante da solução aquosa foi realizado utilizando-se banho descontínuo termostatizado do tipo Dubnoff, sob agitação de 130rpm. O sistema foi mantido em temperatura controlada em diferentes tempos de contato até o equilíbrio de adsorção ser atingido. Segundo Immich (2009) e Bertoldi (2015) (IMMICH *et al.*, 2009; ACCIOLY, 2008), a temperatura é um importante fator controlador do processo de adsorção. Deste modo, desejando encontrar a melhor temperatura, empregou-se 20, 30, 35 e 40°C nos experimentos. As alíquotas das soluções de corante 0,005g.L⁻¹ tratadas com quantidade de adsorvente 0,25; 0,50 e 0,75g para 63µm e 0,125g; 0,50g e 0,75g para 90µm foram retiradas e analisadas por espectrofotometria UV- Visível, no comprimento de onda fixo em 604nm.

Com os valores obtidos em cada monitoramento cinético foi realizado um tratamento matemático para obter a curva de adsorção. Empregando-se a curva analítica do corante ($\lambda_{\text{máx}}=604\text{nm}$) foram determinadas as concentrações iniciais (C_0) e em cada tempo de monitoramento (C_t), e conhecendo-se a massa do adsorvente (m) e o volume da solução empregado (V), foi determinada a quantidade de corante adsorvida no adsorvente em cada tempo de monitoramento, segundo a equação 1a ($q_t=mg.g^{-1}$). E para calcular a quantidade de

corante adsorvida no equilíbrio, utilizou a concentração da solução no tempo infinito, conforme a equação 1b ($q_e = mg \cdot g^{-1}$).

$$q_t = \frac{C_0 - C_t}{m} \times V \quad (1a) \qquad q_e = \frac{C_0 - C_\infty}{m} \times V \quad (1b)$$

Após o tratamento matemático dos dados obtidos e transformando q_t e q_e em mol/g a partir a confecção dos gráficos de pseudo 1ª ordem e de pseudo 2ª ordem, foi possível determinar a ordem da cinética, bem como a constante de velocidade de pseudo-ordem (k_{obs}). E com os valores das constantes de velocidade k_{obs} obtidas em cada temperatura, a partir das equações de Arrhenius (2) e Eyring (3) foi determinado os parâmetros : energia de ativação (E_a), entalpia de ativação (ΔH^*), entropia de ativação (ΔS^*) e energia livre de Gibbs (ΔG^*). Deste modo, pôde-se fazer a avaliação da espontaneidade do processo (ATKINS, 2010; DOTTO *et al.*, 2013).

$$\ln K_{obs} = \ln A - \frac{E_a}{RT} \quad (2)$$

$$\ln \frac{K_{obs}}{T} = \ln \frac{K_b}{h} + \frac{\Delta S^*}{R} - \frac{\Delta H^*}{RT} \quad (3)$$

Onde K_b é a constante de Boltzmann ($1,381 \times 10^{-23} J \cdot mol^{-1}$), h é a constante de Planck ($6,626 \times 10^{-34} J \cdot s$) e R é a constante universal dos gases ($8,314 J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$) e temperatura T em kelvin.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliação visual das soluções

As figuras 3a e 3b mostram as imagens visuais das soluções do corante básico antes e após o processo de adsorção com diferentes quantidades do adsorvente RC de 63 e 90 μm , respectivamente. Em todas as temperaturas de 20 a 40°C observou-se a mesma tendência de comportamento em relação à adsorção, independente da granulometria, como pode ser visto visualmente, nas figuras abaixo.

Figura 3: Avaliação visual das soluções do corante Astrazon Azul básico antes e após adsorção em diferentes quantidades de adsorvente a(63µm) e b(90µm).

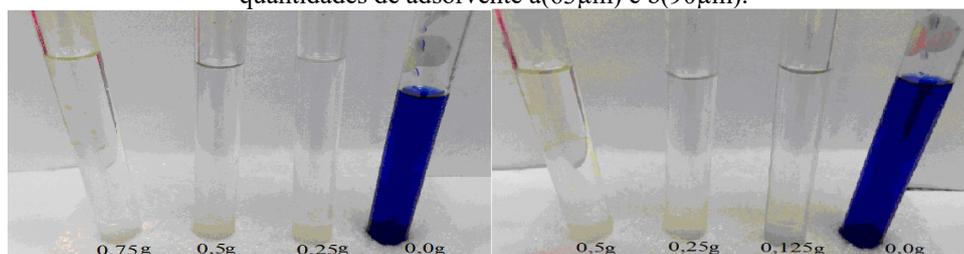


Figura 3a: RC 63µm

Figura 3b: RC 90µm

Fonte: A Autora, 2018.

Avaliação por espectrofotometria em diferentes granulometrias

As figuras 4a e 4b mostram os espectros de absorção das soluções do corante, antes e após o processo de adsorção. Observa-se um grande decaimento da absorbância do corante confirmada nas curvas dos espectros e conforme foi observado anteriormente na Figura 3 total transparência da solução.

Figura 4: Espectros UV-Visíveis (604nm) para a solução do corante antes e após o processo de adsorção, em diferentes quantidades de adsorvente. (a)63µm) e (b)90µm.

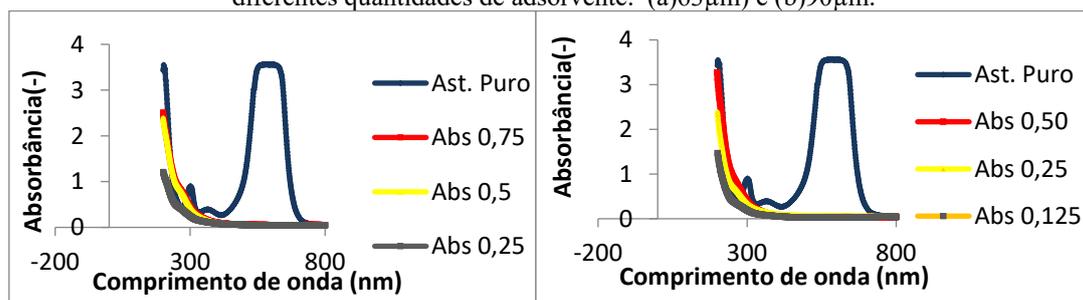


Figura4a: Espectros UV-Vis RC 63µm

Figura 4b: Espectros UV-Vis RC 90 µm

Fonte: A Autora, 2018.

Para determinar o percentual de eficiência do resíduo de clarificação do óleo de vegetal (RC), como adsorvente na remoção do corante da solução, foram realizadas medidas da absorbância no $\lambda_{\text{máx}}$ do corante (604nm). Os experimentos foram realizados nas diferentes condições de temperaturas e quantidade de adsorvente. Considerando os valores de absorbância inicial (Abs_i) e no tempo infinito (equilíbrio da adsorção) (Abs_f) calculou-se a eficiência (%) na remoção da cor segundo a Equação (4) (RAYMUNDI, 2015):

$$Eficiência(\%) = \frac{Abs_i - Abs_f}{Abs_i} .100 \quad (4)$$

As Figuras 5a e 5b comprovam os resultados obtidos nos espectros (Figura 4) que mostram um decaimento total da absorção do corante bem como na imagem visual (Figura 3). Observa-se a relação entre a quantidade de adsorvente (RC) e a eficiência na remoção do corante, sendo esta superior a 97%. Dependendo da granulometria e da quantidade do

adsorvente pode atingir 100%. Foi possível obter eficiências ligeiramente superiores com a mesma quantidade de adsorvente 0,5g; para 63 μ m, quando comparado na mesma quantidade com 90 μ m. Embora o comportamento tenha sido similar em todas as condições estudadas, o tempo de adsorção para a solução ficar completamente incolor foi diferente.

Figura 5: Variação de eficiência (%) do adsorvente em diferentes granulometrias em função da quantidade de adsorvente.

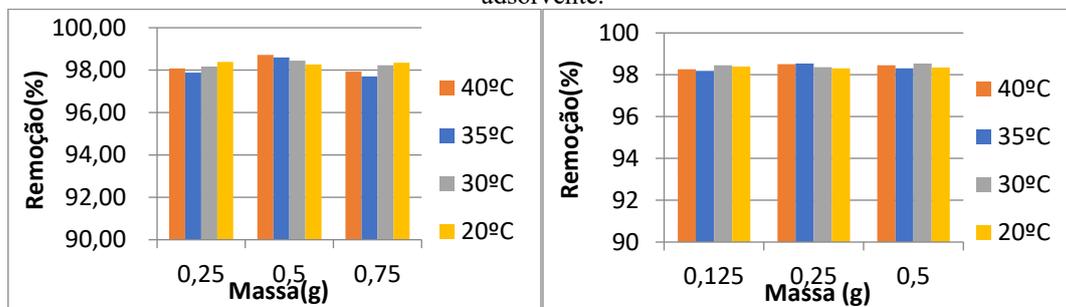


Figura 5a: 63 μ m

Figura 5b: 90 μ m

Fonte: A Autora, 2018.

Dotto (2013) avaliou a capacidade de adsorção dos corantes alimentares vermelho ácido e azul, utilizando quitosana obtida da casca de camarão como adsorvente¹⁴. Obteve-se remoção de 70% do corante vermelho em 120 minutos, e para corante azul o tempo foi de 90 minutos com 75% de remoção. Ainda utilizando quitosana, Quadros (2005) observou uma remoção de até 90% em soluções de efluentes das ETEs da indústria têxtil contendo corantes reativos (QUADROS, 2005).

Enquanto com o adsorvente proposto no presente estudo de RC entre 1,52 a 44 minutos, 50% do corante já havia sido adsorvido dependendo da quantidade do adsorvente e da granulometria sendo que em aproximadamente 20 minutos inicia o equilíbrio de adsorção atingindo até 100%, de remoção do corante da solução onde em 63 μ m foi o menor tempo.

Estudo cinético

Através das figuras 6 e 7 é possível verificar a variação da quantidade de corante adsorvido em função do tempo, mostrando que, o equilíbrio começa ser atingido após 20 minutos de contato entre o adsorvente e o adsorvato, variando dependendo da granulometria.

Figura 6: Equilíbrio na cinética de adsorção a temperatura de 40°C, em 63 µm (6a) com 0,75g; 0,50g, 0,25g do adsorvente e 90 µm (6b) com 0,50g; 0,25g e 0,125g do adsorvente.

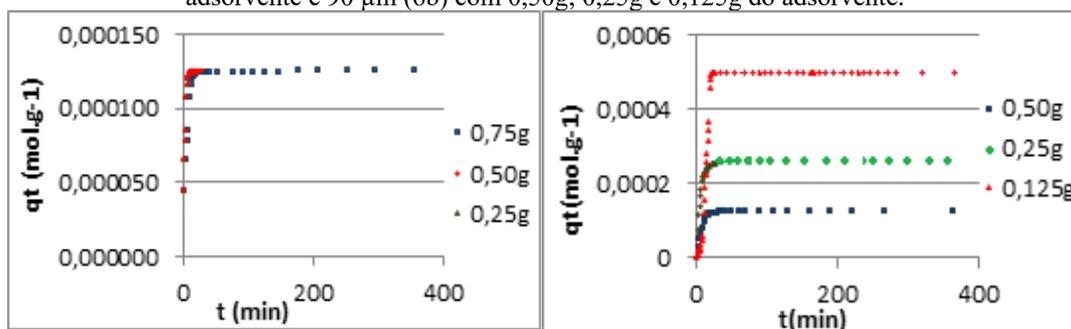


Figura 6a: RC 63 µm

Figura 6b: RC 90 µm

Fonte: A Autora, 2018.

Figura 7: Equilíbrio na cinética de adsorção a temperatura de 20°C, 30°C, 35°C e 40°C, em 63 µm com 0,75g do adsorvente (7a) e 90 µm com 0,50g do adsorvente (7b).

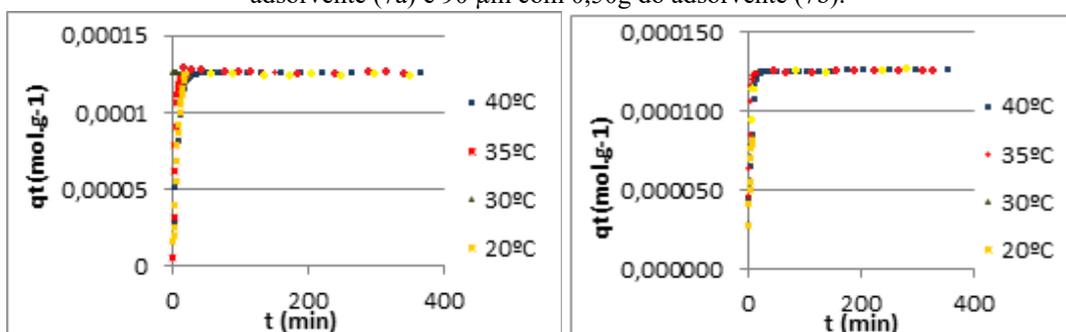


Figura 7a: RC 63 µm

Figura 7b: RC 90 µm

Fonte: A Autora, 2018.

Como pode ser observado o perfil da curva cinética foi semelhante em todos os monitoramentos independente das temperaturas e das quantidades de adsorvente. Segundo Fiorentim e colaboradores (2010), o tempo necessário para que o equilíbrio seja atingido entre as fases possui vários fatores determinantes, os principais são natureza do adsorvente, a quantidade deste e os tipos de sítios ativos, o estado do adsorvente se foi ativado ou inativado, a temperatura e por fim o que se deseja remover (adsorvato) (FIORENTIN *et al.*, 2010).

Determinação da ordem da cinética

A partir dos dados obtidos do monitoramento cinético os modelos matemáticos de cinética de adsorção foram correlacionados. Os modelos de adsorção são usualmente descritos pelos modelos de pseudo 1ª ordem e de 2ª ordem na maioria dos sistemas adsorvente-adsorvato. Outro modelo cinético que também pode ser utilizado em alguns casos é difusão intrapartícula, derivado da Lei de Fick. Este modelo cinético também já foi aplicado a vários sistemas de adsorção e pode responder pelo mecanismo de adsorção (LIMA, 2015; BERTILINI, 2011).

Estes modelos foram devidamente testados para este corante básico em todos os experimentos. No entanto, o melhor modelo matemático para o ajuste linear foi o de pseudo 2ª ordem com r^2 variando de 1 a 0,999 dependendo da temperatura e da quantidade de adsorvente (NAMASIVAYAM *et al.*, 2009; OZCAN *et al.*, 2004).

Representação do modelo linear de segunda ordem Equação (5):

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (5)$$

Onde k_2 constante de velocidade de pseudo 2ª ordem representada por k_{obs} dada em $g.mg^{-1}.min^{-1}$, neste caso transformada em $mol.mg^{-1}.min^{-1}$.

Através da construção do gráfico (t/q) versus t , no qual o coeficiente angular da reta é definido como $(1/q_e)$ e o coeficiente linear da reta é $(1/k_2.q_e^2)$ é possível obtenção da constante de velocidade (k_{obs}) e da quantidade de corante absorvida no equilíbrio (q_e). As figuras 8 e 9 representam a cinética de pseudo 2ª ordem para adsorção do corante, em diferentes temperaturas, concentrações de adsorvente e granulometrias (RAYMUNDI, 2015).

Figura 8: Cinética de pseudo 2ª ordem nas temperaturas de 20°C, 30°C, 35°C e 40°C, em 63 µm com 0,75g do adsorvente (8a), em 90 µm com 0,50g do adsorvente (8b).

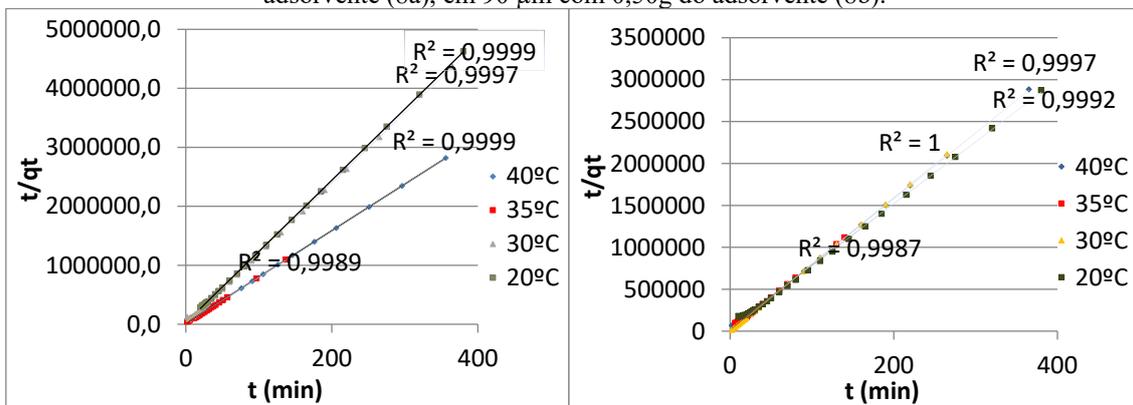


Figura 8a: RC 63 µm

Figura 8b: RC 90 µm

Fonte: A Autora, 2018.

Figura 9: Cinética de pseudo 2ª ordem nas temperaturas de 40°C, em 63 µm com 0,75g; 0,50g, 0,25g do adsorvente (9a), em 90 µm com 0,50g; 0,25g e 0,125g do adsorvente (9b).

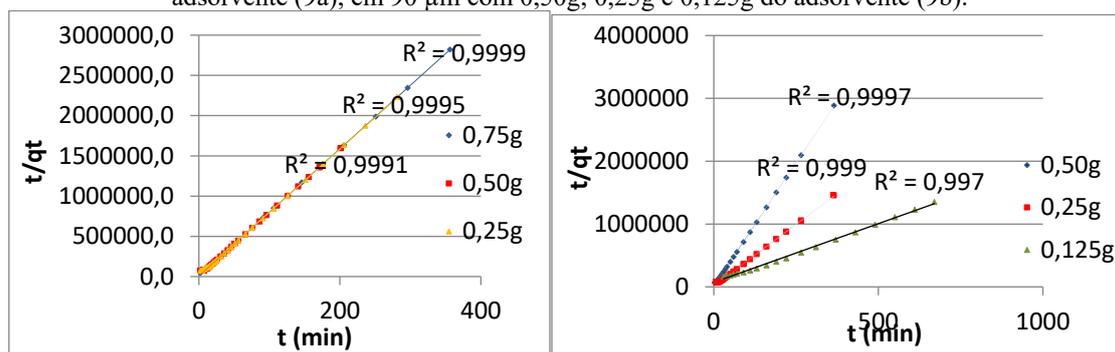


Figura 9a: RC 63 µm

Figura 9b: RC 90 µm

Fonte: A Autora, 2018.

Embora os perfis das curvas sejam semelhantes, observa-se que o tempo de adsorção é menor, para menor granulometria. Quando utilizado a mesma quantidade de adsorvente tem-se menor tempo de meia vida, dependendo da temperatura e da granulometria (Tabela 1 e 2).

Para o cálculo da constante k_{obs} deve-se utilizar o coeficiente linear da reta obtidos a partir dos gráficos de t/qt vs t (equação 5). Para isso, foi necessário calcular a quantidade de corante adsorvido no equilíbrio (q_e) utilizando o coeficiente angular da reta. O valor de k_{obs} e dos outros parâmetros correspondem à média aritmética das triplicatas. A tabela 1 e 2 mostram os resultados obtidos para os parâmetros cinéticos a partir dos cálculos nas diferentes granulometrias.

Tabela 1– Parâmetros cinéticos de pseudo-segunda ordem para diferentes quantidades de adsorvente, granulometria de 63 µm.

20°C				
Adsorvente (g)	k_{obs} ($g \cdot mol^{-1} \cdot min^{-1}$)	q_e calculado ($mol \cdot g^{-1}$)	q_e experimental ($mol \cdot g^{-1}$)	$t_{1/2}$ (min)
0,25	41,73	$2,21E^{-04}$	$2,90E^{-04}$	82,34
0,50	1486,8	$1,02E^{-04}$	$1,20E^{-04}$	5,60
0,75	2850,26	$0,72E^{-04}$	$0,83E^{-04}$	4,26
30°C				
Adsorvente (g)	k_{obs} ($g \cdot mol^{-1} \cdot min^{-1}$)	q_e calculado ($mol \cdot g^{-1}$)	q_e experimental ($mol \cdot g^{-1}$)	$t_{1/2}$ (min)
0,25	100,94	$2,14E^{-04}$	$2,87E^{-04}$	20,30
0,50	1859,48	$1,26E^{-04}$	$1,29E^{-04}$	4,12
0,75	6800,46	$0,73E^{-04}$	$0,84E^{-04}$	1,74
35°C				
Adsorvente (g)	k_{obs} ($g \cdot mol^{-1} \cdot min^{-1}$)	q_e calculado ($mol \cdot g^{-1}$)	q_e experimental ($mol \cdot g^{-1}$)	$t_{1/2}$ (min)
0,25	4843,27	$1,26E^{-04}$	$1,31E^{-04}$	1,62
0,50	4230,14	$1,27E^{-04}$	$1,33E^{-04}$	1,90
0,75	8274,64	$1,25E^{-04}$	$1,28E^{-04}$	1,21

40°C				
Adsorvente (g)	k_{obs} (g.mol ⁻¹ .min ⁻¹)	q_e calculado (mol.g ⁻¹)	q_e experimental (mol.g ⁻¹)	$t_{1/2}$ (min)
0,25	6031,50	1,26E ⁻⁰⁴	1,28E ⁻⁰⁴	1,30
0,50	7561,56	1,26E ⁻⁰⁴	1,28E ⁻⁰⁴	1,13
0,75	9541,71	1,25E ⁻⁰⁴	1,27E ⁻⁰⁴	0,82

Fonte: A Autora, 2018.

Tabela 2– Parâmetros cinéticos de pseudo-segunda ordem para diferentes quantidades de adsorvente, granulometria de 90 µm.

20°C				
Adsorvente (g)	k_{obs} (g.mol ⁻¹ .min ⁻¹)	q_e calculado (mol.g ⁻¹)	q_e experimental (mol.g ⁻¹)	$t_{1/2}$ (min)
0,125	41,06	4,90E ⁻⁰⁴	5,42E ⁻⁰⁴	44,88
0,25	175,34	2,48E ⁻⁰⁴	2,63E ⁻⁰⁴	21,93
0,50	1126,56	1,36E ⁻⁰⁴	1,32E ⁻⁰⁴	6,56
30°C				
Adsorvente (g)	k_{obs} (g.mol ⁻¹ .min ⁻¹)	q_e calculado (mol.g ⁻¹)	q_e experimental (mol.g ⁻¹)	$t_{1/2}$ (min)
0,125	152,01	4,97E ⁻⁰⁴	5,14E ⁻⁰⁴	12,80
0,25	172,37	2,50E ⁻⁰⁴	2,70E ⁻⁰⁴	20,79
0,50	1397,76	1,27E ⁻⁰⁴	1,31E ⁻⁰⁴	5,49
35°C				
Adsorvente (g)	k_{obs} (g.mol ⁻¹ .min ⁻¹)	q_e calculado (mol.g ⁻¹)	q_e experimental (mol.g ⁻¹)	$t_{1/2}$ (min)
0,125	93,82	5,00E ⁻⁰⁴	5,33E ⁻⁰⁴	19,99
0,25	370,97	2,25E ⁻⁰⁴	2,60E ⁻⁰⁴	10,10
0,50	3402,22	1,25E ⁻⁰⁴	1,28E ⁻⁰⁴	2,35
40°C				
Adsorvente (g)	k_{obs} (g.mol ⁻¹ .min ⁻¹)	q_e calculado (mol.g ⁻¹)	q_e experimental (mol.g ⁻¹)	$t_{1/2}$ (min)
0,125	39,39	5,08E ⁻⁰⁴	5,75E ⁻⁰⁴	47,77
0,25	1244,18	2,20E ⁻⁰⁴	2,54E ⁻⁰⁴	3,16
0,50	5549,34	1,26E ⁻⁰⁴	1,28E ⁻⁰⁴	1,66

Fonte: A Autora, 2018.

A partir dos valores tabelados, nota-se que os valores de q_e calculados e experimentais ficaram bastante próximos, que além da correlação linear dos gráficos (r^2) indicam a validade do modelo matemático de pseudo-segunda ordem. Na literatura encontram-se vários estudos com os mais diferentes tipos de adsorvente que também seguem o modelo cinético de pseudo 2ª ordem. Por exemplo; Casca de laranja (LIMA, 2014), Cinza de casca de arroz (RAYMUNDI, 2015), Quitosana (DE CARVALHO *et al.*, 2014; DOTTO *et al.*, 2013).

Com os valores de k_{obs} obtidos para cada temperatura nas cinéticas com concentrações diferentes de adsorvente e nas granulometria de 63 e 90µm foi possível construir um gráfico

utilizando a equação de Arrhenius (2) e um gráfico utilizando a equação de Eyring (3) para determinar os parâmetros de ativação E_a e ΔH^* , ΔS^* , respectivamente.

Com os ajustes das equações de reta obtidas pelos gráficos, foi possível determinar os parâmetros de ativação, conforme a Tabela 3. A energia de ativação (E_a) foi determinada a partir do coeficiente angular da reta aplicado da equação de Arrhenius (2), ΔH^* foi determinado pelo coeficiente angular e ΔS^* , pelo coeficiente linear da reta, aplicados na equação de Eyring (3). O ΔG^* foi calculado para cada temperatura a partir da equação (6).

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ \quad (6)$$

Tabela 3– Parâmetros de ativação de Pseudo 2ª Ordem para diferentes quantidades de adsorvente e granulometria de 63 μm .

Massa do Adsorvente (g)	0,75	0,50	0,25
E_a (KJ.mol ⁻¹)	47,09	61,68	184,47
ΔH^* (KJ.mol ⁻¹)	44,57	59,17	181,96
ΔS^* (J.mol ⁻¹ .K ⁻¹)	-60,13	-18,11	368,91
ΔG^* (KJ.mol ⁻¹)			
Temperatura (°C)	0,75g	0,50g	0,25g
20	62,18	64,47	73,87
30	62,78	64,65	70,18
35	63,09	64,75	68,33
40	63,39	64,84	66,49

Fonte: A Autora, 2018.

Tabela 4– Parâmetros de ativação de Pseudo 2ª Ordem para diferentes quantidades de adsorvente e granulometria de 90 μm .

Massa do Adsorvente(g)	0,50	0,25	0,125
E_a (KJ.mol ⁻¹)	61,56	152,93	39,78
ΔH^* (KJ.mol ⁻¹)	56,04	150,37	30,32
ΔS^* (J.mol ⁻¹ .K ⁻¹)	-20,74	259,31	-142,36
ΔG^* (KJ.mol ⁻¹)			
Temperatura (°C)	0,75g	0,50g	0,25g
20°C	62,13	74,40	72,03
30°C	62,33	71,80	73,45
35°C	62,44	70,51	74,16
40°C	62,54	69,21	74,87

Fonte: A Autora, 2018.

O valor positivo de energia de ativação (E_a) indica que o processo de adsorção do corante Astrazon Azul FGGL 300% no adsorvente RC necessita de energia para iniciar. O valor positivo de ΔH^* significa que durante o processo de adsorção ocorre absorção de calor e que a constante de velocidade aumenta com a temperatura, ou seja, se trata de um processo endotérmico. O valor positivo de ΔS^* para 0,25g de adsorvente indica um aumento da entropia e conseqüentemente um aumento na irreversibilidade e na aleatoriedade do sistema, tornando o processo de adsorção mais favorável.



Além disso, os valores positivos de energia livre de Gibbs (ΔG^*) indicam que o processo de adsorção foi não-espontâneo, com a presença de uma barreira energética na ativação da adsorção, por isso valor relativamente elevado de E_a , principalmente dependendo da granulometria ou quantidade do adsorvente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados acima mostram que a remoção de corante estudado pelo método de adsorção e aproveitamento de um resíduo industrial como adsorvente é eficaz, podendo apresentar um melhor desempenho com a alteração de parâmetros como temperatura e concentração de adsorvente e granulometria, embora não muito significativo. Observou-se uma eficiência superior 97% nas temperaturas testadas e nas três concentrações de adsorvente, independente da granulometria. Considera-se também uma ótima vantagem para o uso de resíduo bruto, dispensando processos adicionais de pré-tratamento e separação de granulometria para seu uso, evitando com isto maiores investimentos. **O modelo matemático que melhor se ajustou às cinéticas de adsorção foi o de pseudo 2ª ordem, obtendo retas com correlações altas ($r^2 > 0,999$). Além disso, os valores de quantidade de corante adsorvida (q_e) calculados ficaram próximos aos obtidos experimentalmente onde os valores de k_{obs} aumentaram com a temperatura. A vantagem de utilizar menor granulometria é que se necessita menos tempo para completar o processo. Analisando os parâmetros termodinâmicos de ativação, conclui-se que este processo cinético necessita de energia para iniciar e estabelecer interação entre adsorvente-adsorvato, mas é favorável.**

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao PiBic-FURB pela bolsa de iniciação científica, a FURB, as empresas Bunge S.A e Dystar pela doação do resíduo (adsorvente) e pelo corante fornecido, respectivamente.

REFERÊNCIAS

ACCIOLY, M. G. **Adsorção do corante luganil azul por espuma de poliuretano**. 2008. 28 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2008. [\[Link\]](#)

ALBERTI, L. D. Bucci, D. Barcellos, I.O. **Study on Physical and Mechanical Properties of PHB Biocomposites with Rice Hull Ash**. In: Materials Science Forum. Trans Tech Publications, p. 557-561, 2014. [\[Link\]](#)



ALBORNOZ MARIN; **Remoção dos corantes têxteis C.I Reactive Blue 203 e C.I. ReactiveRed 195 mediante o uso de bagaço de maçã como adsorvente.** 2015, 152 f.: il.; 30cm. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2015.[\[Link\]](#)

ATKINS, P. W. (Peter William); DE PAULA, Julio. **Atkins físico-química.**8. ed. Rio de Janeiro : LTC, 2010. 2 v, il.[\[Link\]](#)

CRISTINA, KELLI CRISTINA DE SOUZA e colaboradores. **Adsorção Do Corante Reativo Azul 19 em Solução Aquosa por Lama Vermelha Tratada Quimicamente com Peróxido de Hidrogênio.** *Química Nova*, Vol. 36, No. 5, 651-656, 2013. [\[Link\]](#)

BARCELLOS, I. O.; DE LIMA, T.; BLOSFELD, A. M. **Determinação do número de ciclos de reuso do adsorvente cinza de casca de arroz no tratamento de um banho residual de tingimento têxtil.** *Eclética Química*, v. 40, p. 1-10, 2015.[\[Link\]](#)

BERTILINI, T.C,R, FUNGARO D.A. **Estudo de Equilíbrio e Modelagem Cinética da Adsorção de Corante Cristal Violeta sobre Zeólitas de Cinzas Leve e Pesada de Carvão.** 3RDInternational Workshop Advances in CleanerProduction. 2011

CORT, T. S.; BARCELOS, I. O. **Tingimento de tecido pes/co com solução do corante disperso rubi colorpes s-egfl 250%, tratada com resíduo bruto de indústria alimentícia.** *Química Têxtil*. v. 42, n. 131, 2018.[\[Link\]](#)

DE CARVALHO, Terezinha EM; FUNGARO, Denise A.; IZIDORO, Juliana de C. **Adsorção do corante reativo laranja 16 de soluções aquosas por zeólita sintética.** *Química Nova*, 2014. [\[Link\]](#)

DOTTO, G. L. e colaboradores. **Aplicattion of chitosan films for the removal of food dyes from aqueous solutions by adsorption.** *Chemical Engineering Journal*, v. 214, p. 8-16, 2013.[\[Link\]](#)

FIORENTIN, L.D e colaboradores. **Biosorption of reactive blue 5G dye onto drying Orange bagasse in batch system: Kinetic and equilibrium modeling.** *Chemical Enginnering Jounal*, V.163, p. 68-77, 2010.[\[Link\]](#)

IMMICH, A. P. S. et al., **Adsorption of Remazol Blue RR from textile Effluents Using Azadirachtaindica Leaf Powder as na Alternative Adsorbent.** *Adsorption Science & Technology*, v.27, n.5, p.461-478, Jun. 2009.[\[Link\]](#)

LIMA, EDER; **Application of Carbon Composite Adsorbents Prepared from Coffee Waste and Clay for the Removal of Reactive Dyes from Aqueous Solutions.** *Journal of the Brazilian Chemical Society*, Vol. 26 n° 5, p. 1678-4790, 2015.[\[Link\]](#)

LIMA, H.H.C. **Estudo do efeito de adsorvente alternativo de casca de laranja pera rio (citruissinensis L. osbeck) na adsorção de corante têxtil vermelho reativo BF- 4G.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2014.[\[Link\]](#)

MARCHI DE H. F., T. N. SOEIRO e M. R. T. HALASZ; **Estudo da Absorção do Corante Básico Azul de Metileno por Cascas de Eucalyptusgrandis Lixiviadas;** XI Congresso



Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, Unicamp-Campinas-SP, 2015. [\[Link\]](#)

MENDES, CAROLINA ROSAI; Aplicação da biomassa *Saccharomyces cerevisiae* como agente adsorvente do corante Direct Orange 2GL e os possíveis mecanismos de interações adsorbato/adsorvente. Revista Matéria, vol.20 nº4, p.1517-7076, 2015. [\[Link\]](#)

MITTERSTEINER, Mateus; SCHMITZ, Francielle; BARCELLOS, Ivonete Oliveira. **Reuse of dye-colored water post-treated with industrial waste: Its adsorption kinetics and evaluation of method efficiency in cotton fabric dyeing.** Journal of Water Process Engineering, v. 17, p. 181-187, 2017. [\[Link\]](#)

NAMASIVAYAM, C., KAVITHA, D. **Removal of Congo Red from Water by Adsorption Onto Activated Carbon Prepared from Corbon Pith, na Agricultural Solid Waste.** Dyesand Pigments, v. 54, p 47,58. 2009. [\[Link\]](#)

OZCAN, A. S.; OZCAN, A. **Adsorption of acid dyes from aqueous solutions onto acidactivated bentonite.** Journal of Colloid and Interface Science, v. 276, n. 1, p. 39-46, 2004. [\[Link\]](#)

QUADROS, S.S. **Tratamento e reutilização de efluentes têxteis gerados nos tingimentos de tecido de algodão.** Dissertação (Mestrado em Química) - FURB, Blumenau, 2005. [\[Link\]](#)

RAYMUNDI, JULIANA BERTOLDI; **Estudo Cinético e das Isotermas de Absorção das Soluções de Bicromia dos Corantes Reativos Amarelo e Azul H-EXL em Casca de Arroz 2015, 93 f.: il.; 30cm.** Dissertação (Mestrado em Química), Departamento de Química, Universidade Regional de Blumenau, 2015. [\[Link\]](#)

YANG, J.K e colaboradores. **Removal of acid blue 113 and reactive black 5 dye from aqueous solutions by activated red mud.** Journal of Industrial and Engineering Chemistry, v.20, p.1432-1437, 2014. [\[Link\]](#)

www.editorapublicar.com.br
contato@editorapublicar.com.br
@epublicar
facebook.com.br/epublicar

Ciências exatas em foco:

Interações entre pesquisa, atuação e inovação

Rafael Leal da Silva
Roger Goulart Mello
Organizadores



2022

www.editorapublicar.com.br
contato@editorapublicar.com.br
@epublicar
facebook.com.br/epublicar

Ciências exatas em foco:

Interações entre pesquisa, atuação e inovação

Rafael Leal da Silva
Roger Goulart Mello
Organizadores



2022