

# As Engenharias frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente 4

Henrique Ajuz Holzmann  
(Organizador)



Henrique Ajuz Holzmann  
(Organizador)

As Engenharias frente a Sociedade, a  
Economia e o Meio Ambiente 4

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora  
Copyright © Atena Editora  
Copyright do Texto © 2019 Os Autores  
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora  
Editora Executiva: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Antonella Carvalho de Oliveira  
Diagramação: Natália Sandrini  
Edição de Arte: Lorena Prestes  
Revisão: Os Autores

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

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

#### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
E57	<p>As engenharias frente a sociedade, a economia e o meio ambiente 4 [recurso eletrônico] / Organizador Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (As Engenharias Frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente; v. 4)</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-433-7 DOI 10.22533/at.ed.337192506</p> <p>1. Engenharia – Aspectos sociais. 2. Engenharia – Aspectos econômicos. 3. Desenvolvimento sustentável. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Série.</p> <p style="text-align: right;">CDD 658.5</p>
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

Atena Editora  
Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br

## APRESENTAÇÃO

As obras As Engenharias frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente Volume 1, 2, 3 e 4 abordam os mais diversos assuntos sobre métodos e ferramentas nas diversas áreas das engenharias a fim de melhorar a relação do homem com o meio ambiente e seus recursos.

O Volume 1 está disposto em 31 capítulos, com assuntos voltados a engenharia do meio ambiente, apresentando processos de recuperação e reaproveitamento de resíduos e uma melhor aplicação dos recursos disponíveis no ambiente, além do panorama sobre novos métodos de obtenção limpa da energia.

Já o Volume 2, está organizado em 32 capítulos e apresenta uma vertente ligada ao estudo dos solos e águas, com estudos de sua melhor utilização, visando uma menor degradação do ambiente; com aplicações voltadas a construção civil de baixo impacto.

O Volume 3 apresenta estudos de materiais para aplicação eficiente e econômica em projetos, bem como o desenvolvimento de projetos mecânico e eletroeletrônicos voltados a otimização industrial e a redução de impacto ambiental, sendo organizados na forma de 28 capítulos.

No último Volume, são apresentados capítulos com temas referentes a engenharia de alimentos, e a melhoria em processos e produtos.

Desta forma um compendio de temas e abordagens que facilitam as relações entre ensino-aprendizado são apresentados, a fim de se levantar dados e propostas para novas discussões em relação ao ensino nas engenharias, de maneira atual e com a aplicação das tecnologias hoje disponíveis.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
VARIAÇÃO ESTACIONAL DA OFERTA E DO PREÇO DE TOMATE LONGA VIDA EM MINAS GERAIS	
Luis Felipe Lima e Silva Douglas Correa de Souza Wilson Roberto Maluf	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3371925061</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>13</b>
ANÁLISE DA CINÉTICA DE SECAGEM DO NABO JAPONES ( <i>Raphanus Sativus Var. Acanthioformis</i> ) E DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DIFUSIVO DE TRANSFERÊNCIA DE MASSA	
Thayná de Lima Costa Keyvlin dos Santos Pais Marcela Felix dos Santos Monique Mendes dos Santos Raquel Manozzo Galante Leandro Osmar Werle	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3371925062</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>22</b>
CINÉTICA DE SECAGEM DE YACON ( <i>Smallanthus sonchifolius</i> ) E AVALIAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS	
Luan Gustavo dos Santos Thais de Freitas Brauna Joice Cristina Catache Menezes Rosângela Cacho Ferreira Raquel Manozzo Galante Leandro Osmar Werle	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3371925063</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>31</b>
CINÉTICA DE SECAGEM DA FRUTA DE NONI ( <i>Morinda citrifolia linn</i> ): INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NA DIFUSIVIDADE EFETIVA	
Thayná de Lima Costa Fernanda de Oliveira Coaresma Bruna Martinhago Raquel Manozzo Galante Leandro Osmar Werle	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3371925064</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>40</b>
AVALIAÇÃO DE MODELOS DE SECAGEM E DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DIFUSIVO DE CARÁ ( <i>Dioscorea alata</i> )	
Luan Gustavo dos Santos Cristian Rocha da Silva Marcela Felix dos Santos Raquel Manozzo Galante Leandro Osmar Werle	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3371925065</b>	

**CAPÍTULO 6 ..... 49**

TRATAMENTO DE CASTANHA DE CAJU POR RADIAÇÃO UV-C DE LED PARA REDUÇÃO DE BOLORES

Leticia Cabrera Parra Bortoluzzi  
Iasmim Pereira de Moraes  
Ana Rita Zulim Leite  
Brenda Dall Molin  
Sidnei Macedo Pereira Filho  
Márcia Regina Ferreira Geraldo Perdoncini  
Fabio Henrique Poliseli Scopel  
Roberto Ribeiro Neli  
Roberta de Souza Leone  
Heron Oliveira dos Santos Lima

**DOI 10.22533/at.ed.3371925066**

**CAPÍTULO 7 ..... 58**

AVALIAÇÃO DA AÇÃO ANTIFÚNGICA DOS EXTRATOS BRUTOS DE MUTAMBA E CATUABA CONTRA O FUNGO *Botrytis cinerea*

Amanda Correia Gardenal  
Ana Rita Zulim Leite  
Iasmim Pereira de Moraes  
João Carlos Palazzo de Mello  
Daniela Cristina de Medeiros  
Danielly Chierrito de Oliveira Tolentino  
Mariane Roberta Ritter  
Naiara Cássia Gancedo  
Sharize Betoni Galende  
André Oliveira Fernandes da Silva  
Leila Larisa Medeiros Marques  
Márcia Regina Ferreira Geraldo Perdoncini

**DOI 10.22533/at.ed.3371925067**

**CAPÍTULO 8 ..... 67**

COMPARAÇÃO DE LEVEDURAS CERVEJEIRAS SECA E ÚMIDA

Camila A. Carazzato  
Mário L. Lopes  
Sandra H. da Cruz

**DOI 10.22533/at.ed.3371925068**

**CAPÍTULO 9 ..... 76**

INFLUÊNCIA DO USO DE TRAÇADOR COLORIDO NO CULTIVO EM ESTADO SÓLIDO

Marianny Silva Canedo  
Lucas Portilho da Cunha  
João Paulo Henrique  
João Cláudio Thoméo

**DOI 10.22533/at.ed.3371925069**

**CAPÍTULO 10 ..... 85**

AVALIAÇÃO SENSORIAL DE DIFERENTES FORMULAÇÕES DE CUPCAKES COM FARINHA DE TARO (*Colocasia esculenta*) COMO ALTERNATIVA NO DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS PARA PORTADORES DE DOENÇA CELÍACA

Pedro Garcia Pereira da Silva  
Aline Rodrigues Pontes  
Gisele Fernanda Alves da Silva  
Marcello Lima Bertuci  
Tuany Yuri Kuboyama Nogueira

**DOI 10.22533/at.ed.33719250610**

**CAPÍTULO 11 ..... 91**

OTIMIZAÇÃO DE FORMULAÇÃO DE BISCOITO TIPO COOKIE ISENTO DE GLÚTEN UTILIZANDO FARINHA DE ARROZ, TEFF E SORGO

Geovana Teixeira de Castro  
Luiza Pelinson Tridapalli  
Angélica Maria Delovo Fernandes  
Flávia Aparecida Reitz Cardoso  
Leila Larisa Medeiros Marques  
Renata Hernandez Barros Fuchs  
Adriana Aparecida Droval  
Hellen Fernanda da Silva Paulino  
Lucas de Souza Nespeca  
Beatriz Musi Sarris Gomes Lourenço  
Leonardo Vasconcelos Jacovassi  
Pamela da Silva Souza

**DOI 10.22533/at.ed.33719250611**

**CAPÍTULO 12 ..... 100**

AVALIAÇÃO SENSORIAL DE TRÊS MARCAS DE BACON COMERCIAL

Bruna Grassetti Fonseca  
Bianca Guimarães  
Maria Julia Neves Martins  
Ana Carolina Conti e Silva

**DOI 10.22533/at.ed.33719250612**

**CAPÍTULO 13 ..... 108**

DESENVOLVIMENTO DE LOMBO DEFUMADO PRODUZIDO COM CARNE DE JAVALI

Lucas de Souza Nespeca  
Camila da Silva Venancio  
Ana Claudia Montuan de Sousa  
Adriana Aparecida Droval  
Leila Larisa Medeiros Marques  
Renata Hernandez Barros Fuchs  
Flávia Aparecida Reitz Cardoso  
Natália da Silva Leitão Peres  
Angélica Maria Delovo Fernandes  
Lucas Shinti Iwamura  
Larissa Correa

**DOI 10.22533/at.ed.33719250613**

**CAPÍTULO 14 ..... 118**

**OTIMIZAÇÃO DE MORTADELA COM APLICAÇÃO DE MACA PERUANA**

Natália da Silva Leitão Peres  
Letícia Cabrera Parra Bortoluzzi  
Adriana Aparecida Droval  
Leila Larisa Medeiros Marques  
Flávia Aparecida Reitz Cardoso  
Renata Hernandez BarrosFuchs  
Camila da Silva Venancio  
Lucas de Souza Nespeca  
Luiza Pelinson Tridapalli  
Lucas Shinti Iwamura  
Larissa Correa  
Angélica Maria Delovo Fernandes

**DOI 10.22533/at.ed.33719250614**

**CAPÍTULO 15 ..... 127**

**CARACTERIZAÇÃO DA GELATINA OBTIDA DA PELE DE TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*)**

Bárbara de Sena Nunes Menezes  
Beatriz Helena Paschoalinotto  
Camila da Silva Venancio  
Flávia Aparecida Reitz Cardoso  
Adriana Aparecida Droval  
Renata Hernandez Barros Fuchs  
Pâmela da Silva Souza  
Natália da Silva Leitão Peres  
Maria Gabriella Felipe Silva  
Leila Larisa Medeiros Marques  
Larissa Correa  
Lucas Shinti Iwamura

**DOI 10.22533/at.ed.33719250615**

**CAPÍTULO 16 ..... 137**

**PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE MICROCAPSULAS POLI (UREIA-FORMALDEÍDO) PREENCHIDAS COM ÓLEO DE SILICONE COMO INIBIDOR DE CORROSAO PARA APLICAÇÃO EM TINTAS**

Renata França Palhano  
Rogério Gomes de Araújo

**DOI 10.22533/at.ed.33719250616**

**CAPÍTULO 17 ..... 152**

**REMOÇÃO DE Cu(II) POR ADSORÇÃO EMPREGANDO CASCA DE COCO MODIFICADA COM FORMALDEÍDO POLIMERIZADO**

José Eduardo da Silva  
Francisco Idelbrando Lima Rodrigues  
Sara Nóbrega Pacífico  
Aline Sales Ferreira  
Leonardo Félix Santiago  
Luisa Celia Melo Pacheco  
Francisco André Andrade Aguiar  
Vicente Oliveira de Sousa Neto

**DOI 10.22533/at.ed.33719250617**

**CAPÍTULO 18 ..... 163**

ENTALPIA E ENTROPIA DE SORÇÃO DE ÁGUA DA FARINHA DE CAÑIHUA (*Chenopodium pallidicaule Aellen*)

Julles Mitoura dos Santos Junior  
Mona Mellissa Oliveira Cruz  
Augusto Pumacahua Ramos  
Diana Maria Cano Higuaita  
Romildo Martins Sampaio  
Harvey Alexander Villa Vélez

**DOI 10.22533/at.ed.33719250618**

**CAPÍTULO 19 ..... 178**

NANOTECNOLOGIA E MEDICINA: NOVAS PERSPECTIVAS PARA O FUTURO

Gustavo Marquezi Borges  
Douglas Daniel Dalle Corte  
Iago Bissani Pesavento  
Odirlei Antônio Magnagnagno

**DOI 10.22533/at.ed.33719250619**

**CAPÍTULO 20 ..... 186**

RISCO E DOLO EVENTUAL NA INTERFACE ENTRE ENGENHARIA E DIREITO

Antonio Maria Claret-Gouveia  
Alberto Frederico Vieira de Sousa-Gouveia  
Miguel Paganin Neto

**DOI 10.22533/at.ed.33719250620**

**CAPÍTULO 21 ..... 199**

AVALIAÇÃO ANTROPOMÉTRICA EM POSTOS DE TRABALHO DE MARCENARIAS NA CIDADE DE MOSSORÓ – RN

Bruno Ítalo Franco de Oliveira  
Fabrícia Nascimento de Oliveira  
Carolina Mendes Lemos  
João Márcio Rebouças Araújo  
Thaynon Brendon Pinto Noronha  
Wandick Nascimento Dantas  
Pedro Renato Moraes Salgado  
Anderson Nunes Silva  
Ana Victoria Carlos Almeida  
Luara Karolinny Machado de Oliveira  
Jerfson Moura Lima

**DOI 10.22533/at.ed.33719250621**

**CAPÍTULO 22 ..... 216**

COMO A DISSEMINAÇÃO EFICIENTE DAS POLÍTICAS DE TI PODE INFLUENCIAR NA MELHORIA DOS SERVIÇOS PRESTADOS À CIDADE

Luiz Fernando Rocha Pombo  
Ana Paula Guzela Bertolin

**DOI 10.22533/at.ed.33719250622**

<b>CAPÍTULO 23 .....</b>	<b>228</b>
ESTUDO COMPARATIVO DE DESEMPENHO DE EXECUÇÃO DE ALGORITMOS NO CUDA E NO OPENCL	
Antonio Raian de Lima Mendes	
Angelo Amâncio Duarte	
<b>DOI 10.22533/at.ed.33719250623</b>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR.....</b>	<b>234</b>

## VARIAÇÃO ESTACIONAL DA OFERTA E DO PREÇO DE TOMATE LONGA VIDA EM MINAS GERAIS

### Luis Felipe Lima e Silva

Universidade Federal de Lavras, Departamento de Agricultura, Lavras – Minas Gerais.

### Douglas Correa de Souza

Universidade Federal de Lavras, Departamento de Agricultura, Lavras – Minas Gerais.

### Wilson Roberto Maluf

Universidade Federal de Lavras, Departamento de Agricultura, Lavras – Minas Gerais.

**RESUMO:** Em virtude do enorme leque de cultivares disponíveis no mercado, com suas diversas exigências edafoclimáticas, e das diferenças climáticas em várias regiões produtoras, o tomateiro pode apresentar variações estacionais de oferta e de preços ao longo do ano. O objetivo foi estudar a variação estacional da oferta e dos preços do tomate longa vida praticados no estado de Minas Gerais, no período de 2013 a 2016. Os dados referentes aos principais municípios produtores e suas respectivas ofertas para o mercado da CEASAMINAS foram submetidos ao método da média geométrica móvel para a obtenção dos índices das possíveis variações estacionais de oferta e dos preços praticados no período. O tomate longa vida apresentou marcante variação estacional da oferta e dos preços praticados. A unidade CEASAMINAS – Grande BH respondeu pela maior parte do produto

comercializado em Minas Gerais (84%), e por isto esta unidade foi tomada como representativa do mercado no estado. A quantidade total de comercialização de tomate longa vida na unidade da CEASAMINAS – Grande BH nos anos de 2013 a 2016 apresentou uma média anual de aproximadamente 100.704 toneladas. Nos meses que compreendem a época das águas foram observados os preços médios de comercialização mais elevados e com maiores variações estacionais. Nos meses mais frios, não se observou redução na oferta, porém houve diminuição nos preços do tomate longa vida comercializado. Os resultados poderão servir como base para planejamentos da produção dessa cultura para diferentes regiões de climas semelhantes, ou para regiões que apresentem potencial como futuras produtoras.

**PALAVRAS-CHAVE:** Economia, *Solanum lycopersicum* L., mercado, produtividade, sazonalidade na produção.

**ABSTRACT:** Due to the vast numbers of cultivars available on the market, with their diverse soil and climatic requirements, and climatic differences in several producing regions, tomatoes may show seasonal variations in supply and prices throughout the year. The objective was to study the seasonal variation of the supply and prices of long-lived tomatoes practiced in the state of Minas Gerais, from 2013

to 2016. The data from the main producing municipalities and their respective offers for the market of CEASAMINAS were processed by the mobile geometric mean method to obtain the indices of possible seasonal variations in supply and prices practiced in the period. Long-lived tomato showed a denotative seasonal variation in supply and prices. The CEASAMINAS - Grande BH unit accounted for the majority of the product commercialized in Minas Gerais (84%), and for this reason this unit was taken as representative of the market in the state. The total amount of marketing of long-life tomatoes in the CEASAMINAS - Grande BH unit in the years from 2013 to 2016 was approximately 100,704 tons. In the months comprising the water season, the highest average sales prices and seasonal variations were observed. In the colder months, there was no reduction in supply, but there was a decrease in the prices of long-lived tomatoes marketed. The results may serve as a basis for planning the production of this crop for different regions of similar climates, or for regions that present potential as future growers.

**KEYWORDS:** Climate, economy, *Solanum lycopersicum L.*, market, productivity, seasonality in production.

## 1 | INTRODUÇÃO

O tomate (*Solanum lycopersicum L.*) pertence à família das Solanáceas, é um fruto que está presente na maioria das saladas brasileiras. Sendo cultivado nos diferentes hemisférios do mundo, o tomate possui uma ampla aceitação devido às suas qualidades organolépticas (SHIRAHIGE, 2010). O fruto do tomate apresenta elevado valor nutricional e possui uma substância antioxidante responsável pela coloração vermelha, o licopeno, que é recomendado para prevenção ao câncer (STORY et al, 2010; ASTORGA et al., 2017). Este fruto possui grande importância no Brasil tanto do ponto de vista alimentar quanto do socioeconômico por toda geração de empregos e rendas na sociedade. Isso se deve pelo fruto não possuir substituto para o consumidor, apenas outros tipos de tomates que devem acompanhar o preço de alta ou queda.

Atualmente o mercado está mais exigente quanto à qualidade do tomate, o consumidor busca frutos com boa textura, maior conservação pós-colheita, ausência de manchas e principalmente formato e coloração dos frutos atrativos. Nos últimos anos, com o avanço das novas tecnologias, aumentou o número de cultivares plantadas em escala comercial no centro-sul do Brasil, o que gerou a necessidade de adotar um padrão para comercialização. Por isso, é fundamental um bom planejamento do manejo agrônomico para a cultura, dando-se preferência à escolha da cultivar apropriada às condições edafoclimáticas favoráveis. Por todo o mundo, os recursos genéticos do tomateiro têm sido explorados para melhorar suas condições de cultivo. Tanto no Brasil como no exterior, podem ser encontradas centenas de cultivares. A partir da década de 1990 as cultivares híbridas dominaram o mercado (EMBRAPA, 2006).

Além das exigências feitas pelo consumidor, devemos levar em consideração

pragas, bem como os atributos de qualidade dos frutos, a capacidade de adaptação às condições locais de clima, a produtividade, a menor exigência de fertilizantes e o manejo da planta (DUSI et al., 1993; MALUF, 2017). Todos estes fatores interferem diretamente na produção e na produtividade do tomateiro. Por isso é fundamental obter-se o conhecimento sobre os períodos do ano mais favoráveis para a produção de cada cultivar de tomate Longa Vida. Em virtude do enorme leque de cultivares disponíveis no mercado, com suas diversas exigências edafoclimáticas, e das diferenças climáticas em várias regiões produtoras, o tomateiro pode apresentar variações estacionais de oferta e de preços ao longo do ano, caso não se utilize de cultivo protegido.

A análise conjunta das variações da oferta e dos preços do tomate longa vida no decorrer do ano poderá servir como base para planejamentos da produção dessa cultura para diferentes regiões de climas semelhantes, ou para regiões que apresentem potencial como futuras produtoras, visando melhores produtividades e lucros. Dessa forma, objetivou-se com o presente trabalho estudar a variação estacional da oferta e dos preços do tomate longa vida praticados no estado de Minas Gerais no período de 2013 a 2016.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado a partir de dados referentes à produção de tomate Longa Vida destinada à CEASAMINAS, no período de 2013 a 2016, disponibilizados na página do Ceasa Minas na Internet ([www.ceasaminas.com.br/informações de mercado](http://www.ceasaminas.com.br/informações%20de%20mercado)). Os dados de oferta por estado de tomate longa vida para unidade CEASAMINAS – Grande BH foram totalizados e expressos em termos de porcentagem. Dados referentes aos principais municípios produtores e suas respectivas ofertas para o mercado da CEASAMINAS foram obtidos e agrupados de acordo com sua região geográfica em três grandes mesorregiões produtoras, sendo elas: Região Metropolitana de Belo Horizonte, Oeste de Minas e Campos das Vertentes.

Os dados foram processados no software INDEVES (programa para cálculo de índices de variação estacional de preços), do Departamento de Economia e Sociologia Rural da ESALQ USP, visando obter os índices de variação estacional da oferta e dos preços praticados. O procedimento matemático é fundamentado no método da média geométrica móvel centralizada, o qual é indicado para calcular a estacionalidade de produção e de preços em forma de dados anuais ou bianuais (HOFFMANN, 1991). O primeiro passo do método consiste em calcular a média geométrica móvel centralizada (MGM) para cada mês da série de dados do período de meses/anos desejado. Assumindo-se como exemplo o mês de janeiro de 2013, tomando-se o logaritmo neperiano das médias de produção para o período, a MGM é dada por:

Sendo MGM a média geométrica móvel e lnP o logaritmo neperiano dos dados de produção referentes ao mês em questão. Para o cálculo, considera-se o dado de produção do mês (de janeiro no exemplo) e os dados de produção dos seis meses anteriores e dos seis meses posteriores, sendo que o primeiro mês e o último (julho de 2013 e julho de 2014 no exemplo) são multiplicados por 0,5 a fim de se obter o resultado referente a um período de doze meses. Após os cálculos das médias geométricas móveis, foram calculadas as diferenças entre o dado de produção de cada mês e sua média móvel. Também foram calculadas as médias destas diferenças para cada mês do ano, resultando em valores médios de janeiro a dezembro, dos quais são computadas as médias aritméticas. Os resultados dos cálculos que não se igualam a zero são corrigidos retirando-se de cada média da diferença mensal a respectiva média aritmética. Os índices sazonais são finalmente obtidos elevando-se os resultados à base do logaritmo neperiano e multiplicando-se por 100. Para os cálculos dos índices de irregularidade (índices máximos e mínimos), inicialmente são calculados os desvios padrões para os resultados dos índices sazonais de cada mês e depois elevada a cada resultado à base do logaritmo neperiano. Estes números quando multiplicados pelo índice sazonal obtido resultaram nos índices superiores e quando divididos resultaram nos índices inferiores. Os resultados foram então apresentados em gráficos.

Seguindo a mesma metodologia, também foram obtidos os índices mínimos, médios e máximos dos preços praticados na CEASAMINAS, a partir dos índices dos preços praticados em cada unidade da CEASAMINAS.

Foram coletados dados climáticos de quatro estações climatológicas que se localizam nas cidades: Belo Horizonte (mesorregião metropolitana de Belo Horizonte), Divinópolis (mesorregião Oeste de Minas), Barbacena (mesorregião Campo das Vertentes) e Caratinga (mesorregião Vale do Rio Doce), no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a fim de verificar possíveis causas para as variações estacionais da produção e oferta observados.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O tomate longa vida apresentou marcante variação estacional de oferta e dos preços praticados em Minas Gerais no período de 2013 a 2016 (Figura 1a e 1b). A comercialização de tomate longa vida em Minas Gerais ocorre principalmente nas centrais de abastecimento da CEASAMINAS, que é composta pelas unidades regionais de Barbacena, Caratinga, Grande BH, Governador Valadares, Juiz de Fora e Uberlândia (Figura 2).

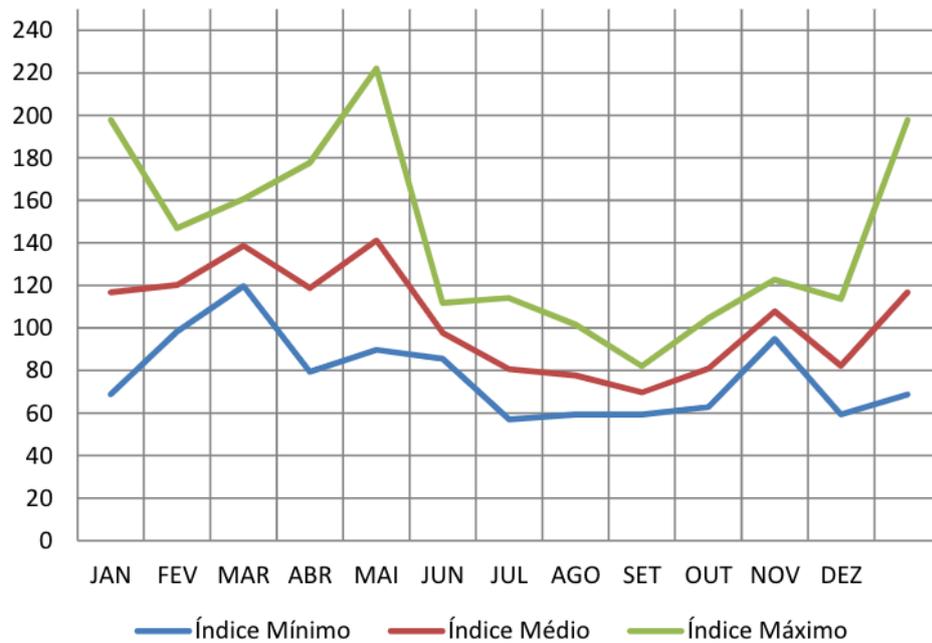


Figura 1a. Variação estacional dos preços de tomate Longa Vida destinado ao CEASAMINAS – Grande BH entre os anos de 2013 e 2016.

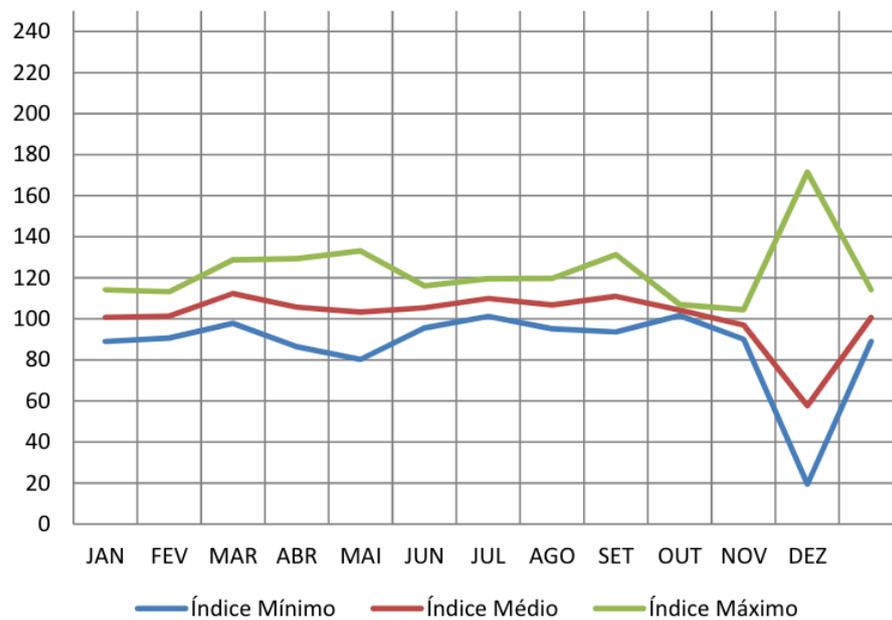


Figura 1b. Variação estacional da oferta de tomate Longa Vida destinado ao CEASAMINAS – Grande BH entre 2013 e 2016.

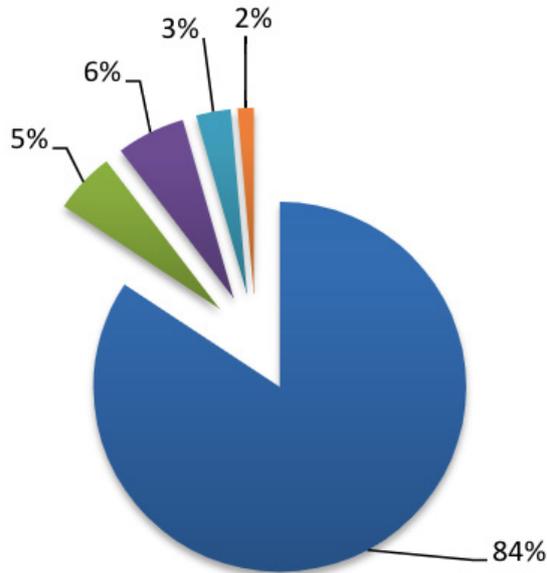


Figura 2 - Comercialização de tomate Longa Vida em cada uma das cinco unidades regionais da CEASAMINAS entre os anos de 2013 e 2016.

A unidade CEASAMINAS – Grande BH responde pela maior parte (84%) de tomate longa vida comercializada no Estado de Minas Gerais, e por isto suas variações estacionais de preço e de oferta são significantes nos valores praticados no estado como um todo. Por isso estes dados foram tomados como representativos das variações da oferta e dos preços observados em Minas Gerais no período estudado. Dos restantes 16% de tomate longa vida comercializado no estado, a Unidade de Caratinga correspondeu a 6%, Uberlândia correspondeu a 5%, e Governador Valadares e Barbacena representaram 3% e 2% respectivamente.

A quantidade total de comercialização de tomate longa vida na unidade da CEASAMINAS – Grande BH nos anos de 2013 a 2016 variou entre 93.110 a 106.522 toneladas, apresentando uma média anual de aproximadamente 100.704 toneladas. Do tomate longa vida comercializado na Unidade Grande BH CEASAMINAS, 34% procede da Mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte, 32% corresponde a Oeste de Minas, 24% e 9% tem origem de Campos das Vertentes e Vale do Rio Doce respectivamente, e as outras mesorregiões (Central Mineira, Jequitinhonha, Noroeste de Minas, Norte de Minas, Sul/Sudoeste de Minas, Triângulo Mineiro, Alto Paranaíba, Vale do Mucuri e Zona da Mata) forneceram apenas 1% do total (Figura 3). Juntas, as três mesorregiões mais produtivas, corresponderam a 90% de todo fornecimento de tomate longa vida para a CEASAMINAS – Grande BH. Os municípios de Minas Gerais corresponderam a 96% da procedência de tomate longa vida para CEASA – Grande BH, Espírito Santo representou 3%, enquanto os outros estados (Bahia, Goiás, São Paulo, Rio de Janeiro, Santa Catarina e Paraná) representaram 1% (Figura 4).

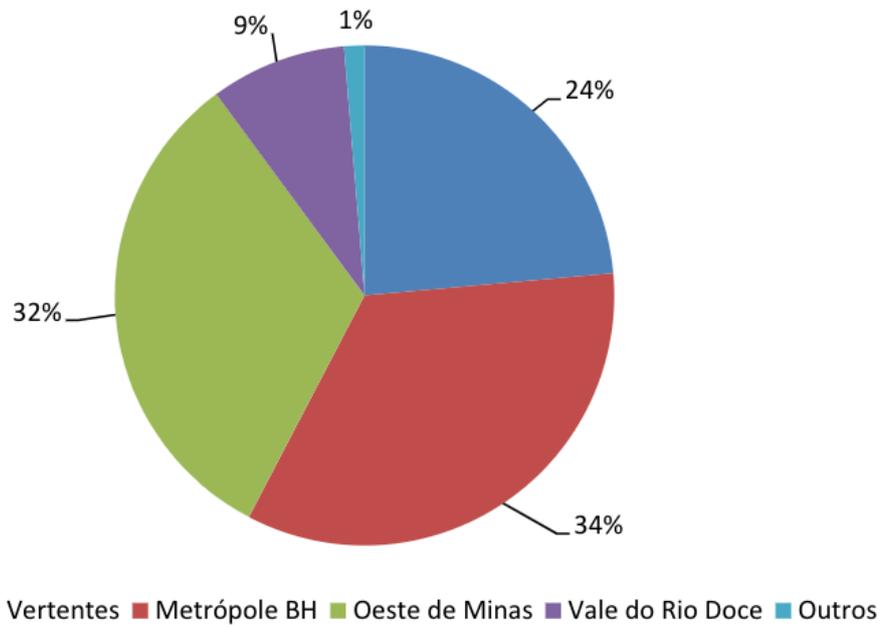


Figura 3 – Procedência do tomate Longa Vida comercializado na CEASAMINAS referente aos anos de 2013 a 2016.

O período entre os meses de dezembro e maio foi o que apresentou os preços médios de comercialização mais elevados e com maiores diferenças entre os índices mínimos e máximos, ou seja, com maior variação estacional de ano a ano. Este período foi também o que apresentou maiores variações estacionais da oferta de tomate longa vida em Minas Gerais. Nos meses mais frios, não se observou redução na oferta, porém houve diminuição nos preços do tomate longa vida comercializado.

As épocas de menores médias de índices de preços são os meses de junho a outubro, com uma pequena elevação do preço no mês de novembro. Os meses que apresentaram preços acima da média foram de final de dezembro até os últimos dias do mês de maio. Maio é o mês que possui o maior índice máximo e índice médio (222,162 e 141,09 respectivamente), portanto este foi o mês que apresentou maior preço do tomate Longa Vida na CEASA – Grande BH entre 2013 a 2016.

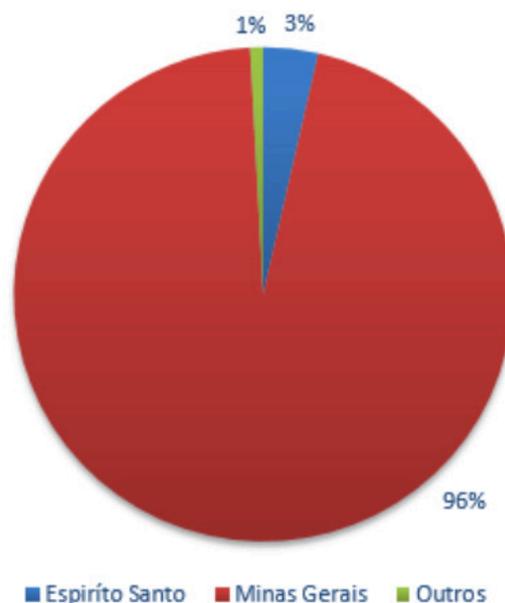


Figura 4 – Procedência do tomate Longa Vida no CEASAMINAS - Grande BH por estado entre os anos de 2013 e 2016.

A maior variação estacional de preços e da oferta entre dezembro e janeiro é explicada principalmente por causa das diferenças observadas nas produções das safras dos anos de 2014 e 2015. No último mês de 2014 foram comercializadas 9.893,96 toneladas de tomate, e na mesma época em 2015 foram comercializadas apenas 1.150,23 toneladas, uma diferença de 8.743,73 toneladas de tomate Longa Vida comercializados na CEASAMINAS - Grande BH.

No mês de dezembro de 2014 a CEASAMINAS – Grande BH recebeu da Mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte 2.007,620 toneladas, do Oeste de Minas 3.601,862 toneladas e da Mesorregião Campo das Vertentes 2.667,900 toneladas de tomate longa vida. As três mesorregiões juntas forneceram um total de 8.277,382 toneladas do fruto no último mês do ano. No ano de 2015 na mesma época as Mesorregiões Metropolitana de Belo Horizonte, Oeste de Minas e Campo das Vertentes forneceram 271,885 toneladas, 472,660 toneladas e 232,340 toneladas de tomate longa vida, respectivamente, totalizando de 976,885 toneladas do fruto, o que representou somente 11,8% se comparado ao mesmo volume fornecido no mesmo mês do ano anterior.

Ao todo são 131 municípios de Minas Gerais que forneceram tomate longa vida para a CEASAMINAS Grande BH em 2014, sendo que Carmópolis de Minas, Lagoa Dourada, Onça de Pitangui, Carandai, Passa Tempo, Barbacena, Maravilhas, Pequi, Santa Barbara do Leste e Ihapim foram os dez que mais comercializaram com a unidade Grande BH, sendo um total de 79.086,95 toneladas do fruto, representando 69,93% do tomate comercializado neste ano. No ano de 2015 os mesmos municípios citados comercializaram 68.414,78 toneladas de tomate Longa vida, uma redução de 13,49%, o que parece ter relação direta com as elevadas temperaturas e precipitações observadas nos últimos meses de 2015 (INMET, 2017).

No mês de dezembro dos anos de 2013, 2014 e 2016, os dez municípios estudados obtiveram uma comercialização média com a CEASAMINAS – Grande BH de 7.041,49 toneladas do fruto. Dezembro do ano de 2015 foi a exceção, com uma produção total de tomate longa vida nos municípios citados de 880,1 toneladas, o que corresponde a uma produção de 87,5% menor comparada à média produzida nesse mês nos anos de 2013, 2014 e 2016.

Em ocasiões em que a média das temperaturas máximas foi menor do que 30°C, e ainda houve menor intensidade de chuva e menor umidade relativa (INMET, 2017), constatou-se que houve maior produção de tomate. Entretanto na safra que houve temperatura máxima média superior a 30°C, maiores precipitações e maior umidade relativa foram observadas quando comparadas ao ano anterior (INMET, 2017).

De acordo com Duarte et al. (2011), não importa qual a espécie vegetal, a análise da variação da temperatura na região em que a cultura é cultivada é fundamental para a condução do plantio, visto que a planta depende dela em todo seu ciclo vegetativo e reprodutivo.

De acordo com Brandão Filho e Callegari (1999) existe temperatura ideal para cada fase do ciclo do tomateiro, mas, de maneira geral, temperaturas diurnas entre 25 e 30°C e noturnas entre 15 e 20°C são favoráveis para o bom desenvolvimento e produção do tomateiro. Adams, Cockshull e Cave (2001) também afirmaram que baixas temperaturas podem influenciar a velocidade de crescimento dos frutos e o ciclo da cultura. Fernandes, Martinez, Fontes (2002) constataram em seu experimento que em decorrência da diminuição da temperatura foram observados menores índices produtivos.

Segundo Alvarenga (2004), quando a cultura do tomate esta submetida a temperatura do ar superior a 35°C, podem ocorrer fortes danos fisiológicos, tais como: menor crescimento das plantas, menor conversão de nutrientes e conseqüentemente menor produção, redução drástica na porcentagem de germinação, morte prematura das plântulas, clorose das folhas, queda das flores, prejuízo na polinização, abortamento e queima dos frutos. E ainda de acordo com a Embrapa (2006), temperaturas superiores a 40°C durante a floração do tomateiro afetam drasticamente a produção de pólen e pegamento dos frutos.

Os índices pluviométricos observados na região aparentemente também foi um fator de forte influência, principalmente na época de verão que apresentou maior frequência de chuvas e com maiores intensidades. De acordo com Quezado-Duval et al. (2007), os prejuízos causados pela chuva na produção de tomate podem atingir até 100%, principalmente devido ao aumento da severidade de doenças, queda prematura e abortamento de flores, ocorrência de rachaduras e redução no número de frutos.

Aparentemente as condições climáticas interferiram drasticamente na produção de tomate longa vida em Minas Gerais no período estudado. No ano que houve maior precipitação, maior temperatura média e maior umidade relativa do ar (INMET, 2017), notou-se uma significativa queda na produção. Para Quezado-Duval et al. (2007), em

períodos que ocorrem elevada precipitação pluviométrica, o crescimento radicular é muito prejudicado devido ao encharcamento mais prolongado do solo, impactando no desenvolvimento das plantas com um reflexo final na produção.

De acordo com Quezado-Duval et al. (2007), a chuva aumenta a ocorrência de doenças do tomateiro. As doenças bacterianas possuem maior incidência em épocas quentes e chuvosas porque estes patógenos estão diretamente relacionados a temperaturas maiores que 28°C e água livre durante os processos de penetração, colonização, infecção e disseminação. O efeito da chuva também interfere na ocorrência de doenças fúngicas, de viroses e doenças causadas por nematoides. Durante o período chuvoso o desenvolvimento dos fungos fitopatogênicos são beneficiados, devido a menor eficiência do controle químico pelo fato do excesso de chuva lavar os produtos, o que reduz o tempo de cobertura das folhas. O excesso de umidade também favorece a esporulação, germinação dos esporos, disseminação e infecção de doenças fúngicas. A ocorrência de doenças causadas por nematoides em tomateiro são favorecidas pela disseminação dos patógenos pela água da chuva. Cultivares de tomate susceptíveis podem apresentar perdas de até 100% (QUEZADO-DUVAL et al., 2007).

É necessário a busca de alternativas de cultivo que solucione os problemas provocados por temperaturas, alta umidade e precipitação (Duarte et al. 2011). O produtor de tomate deve adotar uma série de medidas que diminuam os impactos negativos na produção, incluindo o manejo cultural, uso de variedades mais rústicas, sementes com boa sanidade, aplicação preventiva de agrotóxicos, restrição do trânsito de pessoas em viveiros de mudas para prevenir a entrada de patógenos, verificar o histórico da área de plantio, rotação de culturas, o “roguing”, limpeza de ferramentas e implementos (Quezado-Duval et al. 2007).

#### **4 | CONCLUSÃO**

O tomate longa vida apresentou marcante variação estacional da oferta e dos preços praticados em Minas Gerais nos anos de 2013 a 2016. Nos meses que compreendem a época das águas foram observados os mais elevados preços médios de comercialização e as maiores variações estacionais da oferta e dos preços. Nos meses mais frios, não se observou redução na oferta, porém houve diminuição nos preços dos frutos. Conclui-se que o cultivo de tomate longa vida durante o verão é uma atividade agrícola de risco, entretanto apresenta elevado potencial de retorno financeiro, visto que os preços médios dos frutos são mais elevados durante este período do ano.

## AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais), CNPq, CAPES, UFLA, FAEPE, HortiAgro Sementes S.A..

## REFERÊNCIAS

- ADAMS, S.R.; COCKSHULL, K. E.; CAVE, R.J. Effect of temperature on the growth and development of tomato fruits. **Annals of Botany**, n. 88, p. 869-877, 2001.
- ALVARENGA, M. **Tomate: produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia**. Lavras: Edit. UFLA, 400p. 2004.
- ASTORGA, F., LUNA, N., GÓMEZ, G., ESTEBAN, W., PACHECO, P., ANGEL, Y.; BASTÍAS, E. Variación estacional del contenido de licopeno en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en condiciones de salinidad y exceso de boro en el valle de Lluta, norte de Chile. **Idesia** (Arica), n. 35, p. 4, p. 105-110, 2017.
- BRANDÃO FILHO, J.U.T.; CALLEGARI, O. Cultivo de hortaliças de frutos em solo em ambiente protegido. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, n. 200/201, p. 64-68, 1999.
- CEASAMINAS. **Centrais de Abastecimento de Minas Gerais S.A.** Disponível em: <[www.ceasaminas.com.br](http://www.ceasaminas.com.br)>. Acesso em: 01 nov. 2017.
- DUARTE, L. A.; SCHOFFEL, E. R.; MENDEZ, M. E. G.; SCHALLENBERGER, E. Alterações na temperatura do ar mediante telas nas laterais de ambientes protegidos cultivados com tomateiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.2, p.148–153, 2011.
- DUSI, A. N.; LOPES, C. A.; OLIVEIRA, C. A. S.; MOREIRA, H. M.; CHARCHAR, J. M.; SILVA, J. L. O.; MAGALHÃES, J. R.; BRANCO, M. C.; REIS, N. V. B; MAKISHIMA, N.; FONTES, R. R.; PEREIRA, W.; HORINO, Y. **A Cultura do Tomateiro (para mesa)**. Brasília, DF: EMBRAPA - Coleção Plantar. Série Verde Hortaliças. 1993.
- EMBRAPA. **Cultivo de Tomate para Industrialização**. 2006. Disponível em: <[https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Tomate/TomateIndustrial\\_2ed/cultivares.htm](https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Tomate/TomateIndustrial_2ed/cultivares.htm)>. Acesso em: 20 out. 2017.
- FERNANDES, A.A.; MARTINEZ, H.E.P.; FONTES, P.C.R. Produtividade, qualidade dos frutos e estado nutricional do tomateiro tipo longa vida conduzido com um cacho, em cultivo hidropônico, em função das fontes de nutrientes. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 4, p. 564-570, dezembro 2002.
- HOFFMANN, R. **Estatística para economistas**. 2ªed. Piracicaba, Biblioteca Pioneira de Ciências Sociais. 426p, 1991.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Mensal de Previsão e Acompanhamento das Safras Agrícolas no Ano Civil**. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Rio de Janeiro, v.30, n.1 p.1-81, janeiro, 2017.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 11 nov. 2017.
- MALUF, W. R. **Melhoramento genético do tomateiro e a resistência varietal às doenças**. [Documento PDF]. Disponível em: <<http://www.cbfito.com.br/cd/Palestras/Maluf.pdf>>. Acesso em: 22

out. 2017.

QUEZADO-DUVAL, A. M.; REIS, A.; INOUE-NAGATA, A. K.; CHARCHAR, J. M.; GIORDANO, L. B.; BOITEUX, L. S. Cuidados Especiais no Manejo da Cultura do Tomate no Verão. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças - **Comunicado Técnico**, Nov-2007.5p.

SHIRAHIGE, F. H.; MELO, A. M. T.; PURQUERIO, L. F. V.; CARVALHO, C. R. L.; MELO, P. C. T. Produtividade e qualidade de tomates Santa Cruz e Italiano em função do raleio de frutos. **Horticultura Brasileira**, v.28, n.3, p.292-298, jul-set-2010.

STORY, E.; KOPEC, R.; SCHWARTZ, S.; HARRIS, K. 2010. An update on the health of effects of tomato lycopene. **Annu. Rev. Food Sci. Technol**, v. 1, n.1, p. 189-210. 2010.

## ANÁLISE DA CINÉTICA DE SECAGEM DO NABO JAPONES (*Raphanus Sativus Var. Acanthioformis*) E DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DIFUSIVO DE TRANSFERÊNCIA DE MASSA

### Thayná de Lima Costa

Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Faculdade de Engenharia (FAEN)

Dourados - Mato Grosso do Sul, Brasil.

### Kevylin dos Santos Pais

Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Faculdade de Engenharia (FAEN)

Dourados - Mato Grosso do Sul, Brasil.

### Marcela Felix dos Santos

Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Faculdade de Engenharia (FAEN)

Dourados - Mato Grosso do Sul, Brasil.

### Monique Mendes dos Santos

Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Faculdade de Engenharia (FAEN)

Dourados - Mato Grosso do Sul, Brasil.

### Raquel Manozzo Galante

Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Faculdade de Engenharia (FAEN)

Dourados - Mato Grosso do Sul, Brasil.

### Leandro Osmar Werle

Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Faculdade de Engenharia (FAEN)

Dourados - Mato Grosso do Sul, Brasil.

**RESUMO:** O nabo japonês, conhecido cientificamente por *Raphanus sativus var. acanthioformis*, é uma planta da família das Crucíferas muito utilizada na adubação verde, pois suas raízes descompactam o solo,

permitindo um preparo biológico do mesmo na rotação de culturas e na alimentação animal. A secagem é um dos processos mais utilizados para melhorar a estabilidade do alimento, pois diminui a atividade da água do produto, reduz a atividade microbiana e minimiza as mudanças físicas e químicas que ocorrem durante o armazenamento. Sendo assim, este trabalho objetivou o estudo da cinética de secagem de fatias de nabo japonês (*Raphanus sativus var. acanthioformis*) com emprego da teoria difusional da 2ª lei de Fick, em um secador de bandejas com velocidade de ar constante e determinação do coeficiente difusivo de transferência de massa. Foi encontrado o coeficiente difusivo ( $D_{ef}$ ) de  $8,4152 \times 10^{-4}$  cm<sup>2</sup>/min à temperatura de 70°C, pode ser considerado adequado e condizente com a faixa de valores encontrados por diversos autores, para este tipo de produto alimentício. Através do estudo da cinética de secagem, foi possível concluir que as curvas de secagem do nabo japonês apresentaram comportamento cinético característico quando comparadas com a literatura.

**PALAVRAS-CHAVE:** Segunda Lei de Fick, difusividade, desidratação, cinética.

**ABSTRACT:** The Japanese turnip, known scientifically as *Raphanus sativus var. acanthioformis*, is a plant of the Cruciferous family widely used in green fertilization due to its

roots decompress the soil, allowing a biological preparation of the same in crop rotation and in animal feed. Drying is one of the most processes used to improve food stability because it decreases the water activity of the product, reduces microbial activity and minimizes the physical and chemical changes that occur during storage. The objective of this work was to study the kinetics of japanese turnip slices (*Raphanus sativus* var. *Acanthioformis*) using the diffusion theory of Fick's 2nd law in a tray dryer with constant air velocity and determination of diffusive coeficiente of mass transfer. It was found the diffusive coefficient ( $D_{ef}$ ) of  $8.4152 \times 10^{-4}$  cm<sup>2</sup>/min at 70°C, can be considered adequate and consistent with the range of values found by several authors, for this type of food product. By studying the kinetics of drying, it was possible to conclude that the drying curves of japanese turnip presented a characteristic behavior kinetic when compared with the literature.

**KEYWORDS:** *Fick's second law*, diffusivity, dehydration, kinetics.

## 1 | INTRODUÇÃO

O nabo (*Raphanus sativus*) é um vegetal comum cultivado em todo o mundo por suas raízes comestíveis, que podem ser consumidas cruas ou cozidas, e partes aéreas, que são cozidas e consumidas em Bangladesh. A planta possui inúmeras variedades, sendo a variedade branca (*Raphanus sativus* L. var. *Hortensis* Backer) uma das mais cultivadas.

Segundo Stöhr (1975) as folhas da planta são ricas em ácido fenólico como o ácido ferúlico, com pequenas quantidades de outros ácidos fenólicos como ácido p-hidroxibenzóico, vanílico, salicílico e gentísico.

O nabo é empregado para adubação verde e rotação de culturas nas regiões sul, sudeste e centro-oeste do Brasil (Crusciol, 2005), apresenta teores de óleo na faixa de 40% a 54% (Domingos, 2005).

A secagem é uma operação unitária tradicionalmente conhecida em que o conteúdo de umidade do material é reduzido por meio do contato íntimo com ar aquecido. Com a redução do excesso de umidade aumenta-se a vida útil do produto, reduz seu volume e, com isso, facilita-se o manuseio e transporte. Além de promover estabilidade dos componentes químicos e proteger o produto contra a degradação enzimática oxidativa (Park; Bin; Brod, 2002).

Para se obter uma armazenagem segura e eficiente deve-se proceder a secagem corretamente. Para que este processo seja realizado de forma rápida, segura e econômica é fundamental conhecer e monitorar os fenômenos físicos existentes durante a secagem (Martinazzo et al., 2007).

O estudo de sistemas de secagem, seu dimensionamento, otimização e a determinação da viabilidade de sua aplicação comercial podem ser feitos por meio de simulação matemática, cujo princípio se fundamenta na secagem de sucessivas camadas delgadas do produto, utilizando-se modelos matemáticos que representa

satisfatoriamente a perda de água (Afonso Júnior; Corrêa, 1999). A cinética de secagem é a taxa na qual o alimento perde umidade e ocorrem transformações internas e externas, e é controlada pelas características da matriz do mesmo e pelas seguintes variáveis: temperatura, velocidade e umidade relativa do ar (Celestino, 2010).

De acordo com o comportamento da transferência de calor e massa ao longo da operação, a secagem pode ser dividida em três períodos: período de indução, período em taxa constante e período em taxa decrescente de secagem. A temperatura do sólido aumenta até alcançar a do ar de secagem, e ao produto atingir a umidade de equilíbrio com o ar de secagem, a taxa de secagem passa a ser nula e o processo é encerrado (Park, 2007).

Desta forma, este trabalho teve como objetivo o estudo da cinética de secagem de fatias de nabo japones (*Raphanus sativus var. acanthioformis*) com emprego da teoria difusional da 2ª lei de Fick, em um secador de bandejas com velocidade do ar constante e determinação do coeficiente difusivo de transferência de massa para a raiz tuberosa alvo do estudo.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Material

Para o experimento o nabo japones (*Raphanus sativus var. acanthioformis*) foi adquirido no comércio local de Dourados-MS, onde cortou-se a raiz tuberosa em fatias de  $0,3 \pm 1$  cm de espessura, sendo o diâmetro médio das fatias de 7,15 cm com desvio padrão de 0,15 cm. Estas foram pesadas e colocadas em secador convectivo de bandejas com fluxo de ar e entrada superior, temperatura do ar a  $70 \pm 2$  °C e velocidade do ar constante de aproximadamente 2 m/s. A secagem ocorreu com fluxo de ar paralelamente a superfície da amostra, utilizando para pesagem uma balança eletrônica analítica (OHAUS Pioneer PA413) com precisão de 0,01g.

### 2.2 Determinação da Cinética de Secagem

Para realização do experimento, foi necessário controle do fluxo de ar e da temperatura no secador. Após a verificação da estabilização da temperatura do ar de secagem da estufa na temperatura pré-determinada de 70°C foram medidos os pesos das amostras em períodos diferentes de tempo; nas primeiras 2 horas, a amostra foi pesada em intervalos de 15 minutos, nas duas horas seguintes, de 30 em 30 minutos, e a partir da quinta hora de experimento, pesou-se em intervalos de 1 hora até a obtenção de peso constante até atingir a umidade de equilíbrio ( $X_e$ ). A amostra permaneceu no secador até completar 24 horas, na qual, foi pesada novamente e obtido o peso final da amostra seca ( $W_{ss}$ ).

A umidade inicial e ao longo do tempo ( $X_t$ ) para as amostras analisadas de nabo foram determinadas com o emprego do peso da água evaporada e do peso final da

amostra seca ( $W_{ss}$ ).

Com os dados obtidos foram construídas as curvas típicas de secagem e a taxa de secagem ( $Ra$ , expressa em  $g_{H_2O}/min.cm^2$ ), sendo a curva de secagem obtida plotando-se a umidade em função do tempo, durante o período de secagem, além do peso final da amostra seca e da área superficial ( $A$ ) das amostras expostas ao ar de secagem, com a Equação 1.

$$Ra = \frac{W_{ss} \cdot \Delta X}{A \cdot \Delta t} \quad (1)$$

O adimensional de umidade livre ( $Y$ ) foi obtido através da Equação 2.

$$Y = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} \quad (2)$$

Em que  $X_t$  = teor de umidade do produto ao longo do tempo, ( $g_{H_2O}/g$  sólido seco);  $X_0$  = teor de umidade inicial do produto ( $g_{H_2O}/g$  sólido seco);  $X_e$  = teor de umidade de equilíbrio do produto ( $g_{H_2O}/g$  sólido seco).

### 2.3 Modelagem Matemática para Determinação do Coeficiente de Difusividade Efetiva

A teoria difusional, empregada neste trabalho, apoia-se exclusivamente sobre a Lei de Fick, que expressa que o fluxo de massa por unidade de área é proporcional ao gradiente de concentração de água. No presente trabalho, a difusividade efetiva ( $D_{ef}$ ) da água no interior do produto foi determinada a partir da 2ª Lei de Fick (Equação 3), desconsiderando-se a contração volumétrica da amostra e com aproximação para placa plana (Cranck, 1975), sendo a equação truncada no primeiro termo (De Menezes et al., 2013), com valores constantes para a espessura, bem como para as temperaturas e para a umidade inicial e de equilíbrio. As Equações 3 a 6 descrevem a modelagem utilizada para obtenção da difusividade efetiva empregando método gráfico com ajuste exponencial, de acordo com Geankoplis (1998).

$$Y = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{8}{\pi^2} e^{-Def \left(\frac{\pi}{2L}\right)^2 t} \quad (3)$$

A Equação 3, pode ser reescrita, obtendo-se a Equação 4.

$$Y = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} = A e^{kt} \quad (4)$$

Onde, A e k são parâmetros do modelo, os quais representam a constante do modelo e o coeficiente de secagem, respectivamente. Isolando-se a coeficiente de secagem (k) a partir da equação anterior, obtém-se a Equação 5, e partir dela é possível determinar o coeficiente de difusão efetivo do produto ( $D_{ef}$ ) (Equação 6).

$$k = -Def \left( \frac{\pi}{2L} \right)^2 \quad (5)$$

$$-Def = \frac{k \cdot 4L^2}{\pi^2} \quad (6)$$

Em que t = tempo de secagem (min); k = coeficientes de secagem ( $\text{min}^{-1}$ ); a = constante do modelo, adimensional; L = espessura (mm);  $D_{ef}$  = coeficiente de difusão efetivo ( $\text{cm}^2 \text{min}^{-1}$ ).

Como critério de avaliação do ajuste do modelo que descreve o processo de secagem utilizou-se, além do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o erro quadrático médio (MSE) (Equação 7). O MSE é uma medida estatística padrão, o qual pode ser utilizado para definir o modelo de previsão mais preciso, quanto mais próximo de zero, mais preciso será o modelo ajustado.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y_t - F_t)^2 \quad (7)$$

Em que  $Y_t$  = valores preditos pelo modelo matemático;  $F_t$  = valores obtidos experimentalmente; n= número de observações ao longo do experimento.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

As curvas de secagem permitem predizer o momento do processo em que se atinge o teor de umidade desejado e desta forma obter um produto de boa qualidade. A curva típica de secagem do nabo japonês (*Raphanus sativus var. acanthioformis*) é ilustrada na Figura 1, a qual relaciona a umidade livre da amostra pelo tempo de secagem.

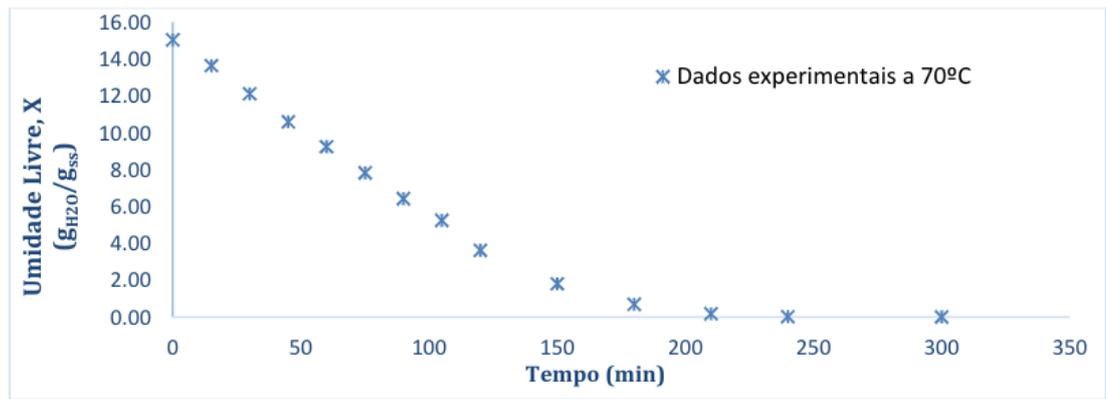


Figura 1. Curva de secagem de nabo japonês em condições constantes à temperatura de 70°C.

No início do processo, o calor fornecido pela convecção é utilizado na forma de calor sensível ocasionando assim, um rápido aquecimento das amostras e conseqüentemente ocorre a retirada da umidade intrínseca do produto no interior da célula. No final do processo, há uma propensão da umidade se tornar constante, esse comportamento relaciona-se com a resistência interna ao transporte de umidade, sendo que, de acordo com Canochauca (2000), nesse período a água interage com os grupos polares das moléculas dos constituintes do produto complicando a transferência de umidade do produto para o ar.

No presente estudo, o processo de secagem do nabo japonês (*Raphanus sativus* var. *acanthioformis*) necessitou de 6 horas à temperatura de 70°C para que o teor de umidade se tornasse constante apresentando, portanto, um tempo razoável para um processo de secagem da raiz tuberosa analisada, antes de sua deterioração.

A curva de taxa de secagem (Ra) é apresentada na Figura 2, nesta curva pode-se observar o perfil de velocidade de secagem pelo conteúdo de umidade. Verifica-se que no início do processo, a remoção de umidade foi mais elevada quando comparada ao período final do processo. Park, Vohnikova e Brod (2002), citam que a curva de taxa de secagem resulta da derivação da curva de secagem em relação à quantidade de umidade e pode ser dividida em período de taxa constante de secagem e período de taxa decrescente.

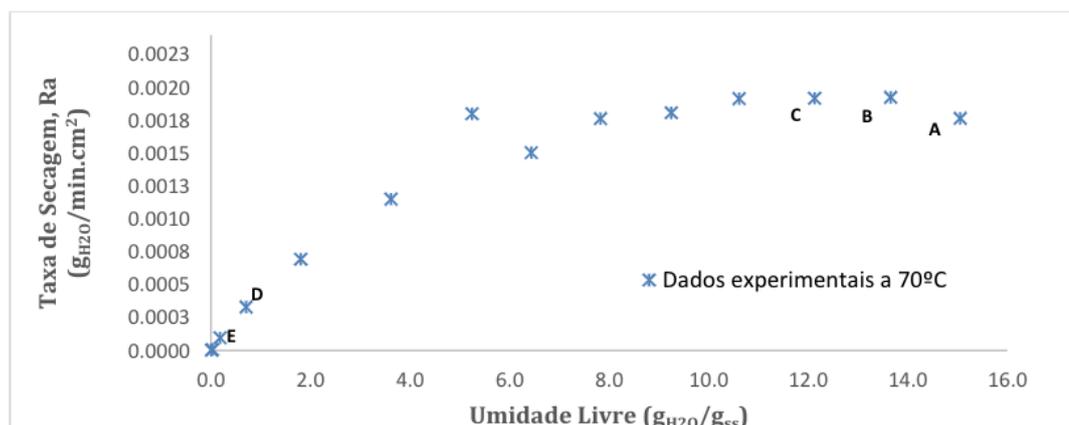


Figura 2. Taxa de secagem do nabo japonês para temperaturas de 70°C.

Na Figura 2 é possível perceber um comportamento típico de curvas de cinética, e sua análise mostra que o ciclo de secagem da amostra se constitui de vários períodos ou fases à medida que a umidade do sólido se reduz. Estes períodos estão relacionados aos mecanismos de realização da secagem. O período de secagem representado na Figura 2 pelo seguimento A - B é o período de acomodamento, até a amostra do nabo atingir a temperatura de equilíbrio do processo, neste caso a velocidade de secagem foi crescente, pois a temperatura da amostra estava abaixo da temperatura de equilíbrio. Observa-se ainda que na secagem da raiz tuberosa do nabo, existe um curto período a taxa constante (B-C), onde toda superfície exposta do sólido está saturada de água, sendo que o mecanismo que rege esta etapa é a evaporação de líquido. E por fim, observa-se, entre os pontos C - E, o período de taxa decrescente, no qual o conteúdo de umidade na superfície é reduzido, sendo que a difusão interna da água no sólido controla o processo. A secagem da amostra prosseguiu até que o sólido atinja a umidade de equilíbrio ( $X_e$ ) (ponto E).

Utilizando os dados referentes ao período de taxa decrescente, ajustou-se o modelo da 2ª Lei de Fick (Equação 3) aos dados experimentais da secagem do nabo japonês, e obteve-se a curva de adimensional de umidade livre em função do tempo, como é ilustrado na Figura 3.

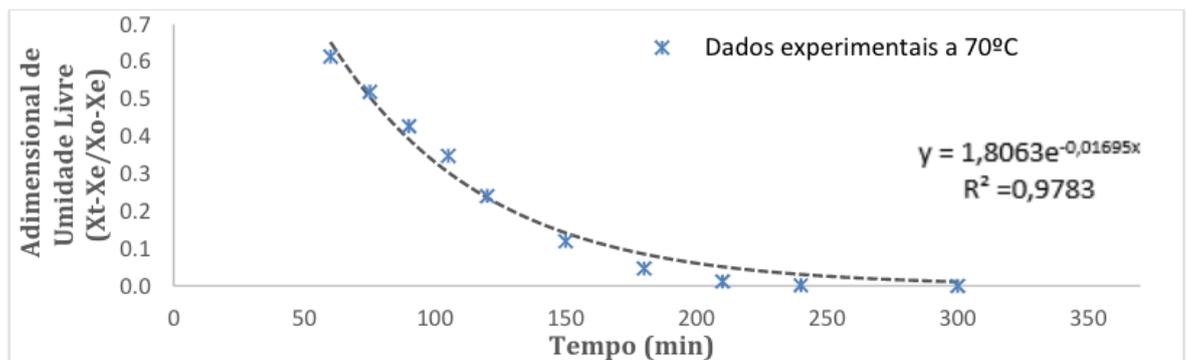


Figura 3. Cinética de secagem de fatias de nabo japonês em temperatura de 70°C, valores experimentais e estimados com ajuste do modelo difusível da 2ª Lei de Fick.

A Tabela 1 mostra os valores dos parâmetros dos modelos ajustados aos dados experimentais, bem como expressa o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o erro estatístico para cinéticas avaliadas na temperatura de 70°C. Com base na Tabela 1, verifica-se que o modelo ajustado apresentou coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,9783, e erro reduzido, sinalizando, de acordo com Madamba et al. (1996) uma representação satisfatória do processo de secagem pelo modelo e um ajuste preciso.

Modelo matemático	T(°C)	Parâmetros		R <sup>2</sup> (decimal)	MSE (decimal)
		A	k (min <sup>-1</sup> )		
2 <sup>a</sup> Lei de Fick	70	1,8063	-0,01695	0,9783	7,1579e <sup>-4</sup>

Tabela 1. Parâmetros obtidos e critérios de avaliação a partir do ajuste do modelo da 2<sup>a</sup> Lei de Fick aos dados experimentais de secagem do nabo japonês na temperatura de 70 °C.

Com o valor da constante de secagem (k) obtida na temperatura avaliada e com emprego da Equação 6, foi possível determinar o coeficiente de difusividade efetiva do nabo japonês ( $D_{ef}$ ) na temperatura de 70°C, sendo o valor de  $8,4152 \times 10^{-4}$  cm<sup>2</sup>/min. De acordo com Madamba et al. (1996) para secagem de produtos agrícolas os valores do coeficiente de difusão apresentam-se na ordem de  $10^{-4}$  a  $10^{-6}$  cm<sup>2</sup>/min, desta forma o valor encontrado neste trabalho está na mesma ordem da verificada na literatura.

Pode-se entender a difusividade como a facilidade com que a água é removida do material. Segundo Oliveira, Oliveira e Park (2006) O coeficiente de difusão ( $D_{ef}$ ) é uma difusividade efetiva que engloba os efeitos de todos os fenômenos os quais podem intervir sobre a migração da água, e seu valor é sempre obtido pelo ajuste de valores experimentais, conforme realizado no presente trabalho. Como a difusividade varia conforme mudam as condições de secagem (temperatura e velocidade do ar) ela não é intrínseca ao material, por esta razão convencionou-se chama-la de difusividade efetiva.

#### 4 | CONCLUSÃO

Através do estudo da cinética de secagem, foi possível concluir que as curvas de secagem do nabo japonês (*Raphanus sativus var. acanthioformis*) apresentaram comportamento cinético característico quando comparadas com a literatura. O comportamento das curvas do adimensional de umidade e da taxa de secagem obtidos no referido estudo também foi compatível com a maior parte das matérias-primas vegetais e alimentícias verificadas na literatura. Através do experimento foi possível determinar o coeficiente de difusividade efetivo do nabo japonês, utilizando a 2<sup>a</sup> Lei de Fick aplicada para superfícies planas, onde analiticamente é desconsiderada a redução de volume através da contração da matéria, mesmo com essa simplificação, o resultado obtido de  $D_{ef}$  foi de  $8,4152 \times 10^{-4}$  cm<sup>2</sup>/min à 70°C, pode ser considerado adequado e condizente com a faixa de valores encontrados por diversos autores com trabalhos na área, para este tipo de produto alimentício.

#### REFERÊNCIAS

AFONSO JÚNIOR, P. C.; CORRÊA, P. C. Comparação de modelos matemáticos para descrição da cinética de secagem em camada fina de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 03, n. 03, p. 349-353, 1999.

CANOCHAUCA, M. N. **Avaliação dos parâmetros de qualidade envolvidos na desidratação da banana**. Dissertação de Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Tecnologia de Alimentos, UFV- Universidade Federal de Viçosa, 2000.

CELESTINO, S. M. C. Princípios de secagem de alimentos. Planaltina, DF: **Embrapa Cerrados**, 2010.

CRANCK, J. **The mathematics of diffusion**. 2 ed., Oxford: Claredon Press, 1975.

CRUSCIOL, C. A. C. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo-forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 02, p. 161-168, 2005.

DE MENEZES, M. L.; M. L. D.; STROHER, A. P.; PEREIRA, N. C., BARROS, S. T. D. Análise da cinética e ajustes de modelos matemáticos aos dados de secagem do bagaço do maracujá-amarelo. **Engvista**, v. 15, n. 2, p. 176-186, 2013.

DOMINGOS, A. K. **Otimização da etanolise de óleo de *Raphanus sativus* L. e avaliação de sua estabilidade à oxidação**. 113 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

GEANKOPLIS, C. J. **Transport process and unit operations**, 3. ed., New Jersey: Prentice Hall, 1998.

MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. Thin-layer drying characteristics of garlic slices. **Journal of Food Engineering**, v.29, p.75-97, 1996.

MARTINAZZO, A. P. et al. Análise e descrição matemática da cinética de secagem de folhas de capim-limão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 03, p. 301-306, 2007.

OLIVEIRA, R. A.; OLIVEIRA, W. P.; PARK, K. J. Determinação da Difusividade Efetiva de Raiz de Chicória, **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.26, n.1, p.181-189, 2006.

PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Drying of pear d'Anjou with and without osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, v. 56, n. 1, p. 97-103, 2002.

PARK, K. J.; VOHNIKOVA, Z.; BROD, F. P. R. Evaluation of drying parameters and desorption isotherms of garden mint leaves (*Mentha crispa* L.). **Journal of Food Engineering**, v. 51, n. 3, p. 193-199, 2002.

PARK, D. Reliable evidences that the removalmechanism of hexavalente chromium by natural biomaterials is adsorption-coupledreduction. **Chemosphere**, v. 70, p. 298–305, 2007.

STÖHR, H. H. K. **Phenolic acids of vegetables. III. Hydroxycinnamic and hydroxybenzoic acids of root vegetables**. *Z Lebensm Unters Forsch*, 159(4): 218-224, 1975.

## CINÉTICA DE SECAGEM DE YACON (*Smallanthus sonchifolius*) E AVALIAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS

### Luan Gustavo dos Santos

Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Faculdade de Engenharia (FAEN)

Dourados - Mato Grosso do Sul, Brasil

### Thais de Freitas Brauna

Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Faculdade de Engenharia (FAEN)

Dourados - Mato Grosso do Sul, Brasil

### Joice Cristina Catache Menezes

Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Faculdade de Engenharia (FAEN)

Dourados - Mato Grosso do Sul, Brasil

### Rosângela Cacho Ferreira

Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Faculdade de Engenharia (FAEN)

Dourados - Mato Grosso do Sul, Brasil

### Raquel Manozzo Galante

Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Faculdade de Engenharia (FAEN)

Dourados - Mato Grosso do Sul, Brasil

### Leandro Osmar Werle

Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Faculdade de Engenharia (FAEN)

Dourados - Mato Grosso do Sul, Brasil

**RESUMO:** O Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) é considerado um tubérculo, com diversas propriedades funcionais e nutritivas, destacando-se o por possuir baixo teor calórico, agentes antimicrobianos e atuar como redutor nos níveis

de glicose e colesterol do sangue. Devido suas características físicas, as propriedades da planta são facilmente degradadas durante as etapas de processamento, sendo imprescindível o uso da secagem. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a cinética de secagem de yacon, ajustar e avaliar a melhor descrição dos dados experimentais através de modelos matemáticos (2ª Lei de Fick, Page e Midilli), bem como, definir o coeficiente de difusividade do material. O processo de secagem foi realizado utilizando fatias padronizadas de yacon, as quais foram colocadas em estufa de circulação a uma temperatura de 70 °C e velocidade de ar constante de 2 m.s<sup>-1</sup>, realizando pesagens até se obter peso constante das amostras. Analisando os erros estatísticos dentre os modelos em estudo, o de Midilli apresentou melhor resposta em relação a cinética de secagem das fatias do yacon. O coeficiente de difusão efetivo obtida no experimento foi de 7,6388x10<sup>-4</sup> cm<sup>2</sup>.min<sup>-1</sup>, sendo este valor condizente com a faixa de valores encontrada na literatura para este tipo de material.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tubérculo, difusividade, desidratação, cinética.

**ABSTRACT:** Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) is considered a tubercle, with several functional and nutritional properties, especially for having low caloric, antimicrobial agents and acting

as a reducer the glucose in the blood and cholesterol levels. Due to their physical characteristics, the properties of the plant are easily degraded during the processing stages, being essential the use of drying. The objective of this article was to evaluate the yacon drying kinetics, to adjust and to evaluate the best discretion of the experimental data through mathematical models (2nd Law of Fick, Page and Midilli), as well as to define the diffusivity coefficient of the material. The drying process was carried out using standard yacon slices, which were placed in a circulation oven at a temperature of 70 ° C and constant air velocity of 2 m.s<sup>-1</sup>, weighing until constant weight of the samples was obtained. Analyzing the statistical errors among the models studied, the Midilli presented better response in relation to the drying kinetics of the yacon slices. The effective diffusion coefficient obtained in the experiment was 7.6388x10<sup>-4</sup> cm<sup>2</sup>.min<sup>-1</sup>, being this value consistent with the range of values found in the literature for this type of material.

**KEYWORDS:** Tubercle, diffusivity, dehydration, kinetics.

## 1 | INTRODUÇÃO

Para a preservação de alimentos e seus constituintes tais como proteínas, minerais, vitaminas e compostos bioativos, a secagem se destaca por ser uma técnica de baixo custo operacional e que está em constante evolução e aprimoramento. Esta técnica consiste em uma operação unitária, responsável pela remoção de água ou de qualquer outro líquido presente em amostras sólidas, afim de reduzir a umidade para níveis de 10 a 15% em alimentos. Durante o processo de secagem, a água do interior dos alimentos é transportada para a superfície, na qual, através de processos de condução e convecção, é evaporada para o ambiente, tendo como auxílio, a velocidade do ar de circulação de um equipamento de secagem (Blackadder; Nedderman, 2008).

A baixa quantidade de água disponível em alimentos secos garante segurança ao ataque de microrganismos, impede que reações químicas ocorram, concentra seus constituintes nutricionais, modifica o sabor e também a cor. No entanto, é necessário avaliar a melhor temperatura de secagem já que o calor emitido pode, além de atuar na evaporação de líquidos, influenciar e degradar proteínas, vitaminas e antioxidantes. Estes constituintes estão ligados a características sensoriais dos alimentos que, ao ser modificados, podem gerar um produto desidratado com características extremamente escuras, sabor amargo e textura endurecida (*Food Ingredients* Brasil, 2013; Dionello et al., 2009).

Para melhorar o processo de secagem, Karathanos e Belessiotis (1999) expõe que é importante dispor de modelos que simulem as curvas de secagem em diversas condições de controle. A Teoria Difusional é um método utilizado para estudar a cinética de secagem de materiais, tendo como base a equação da difusão líquida (2<sup>a</sup> Lei de Fick) e da solução simplificada para placa plana infinita proposta por Crank (1975).

Em busca de alimentos que oferecem compostos bioativos, o yacon (*Smallanthus*

*sonchifolius*) se tornou popular por se demonstrar ser fonte abundante de inulina (oligossacarídeo), possuir características prebióticas, oferecer melhor absorção de minerais, baixo valor calórico, reduzir os níveis de glicose e colesterol no sangue e prevenção da constipação. Seu consumo é feito através de preparação de chá, cozidos ou como farinha aplicada em bolos, pães e doces, enriquecendo-os (Bonet, et al., 2010; Gusso; Mattanna; Richards, 2015).

Em estudo, Moscatto, Prudêncio-Ferreira e Haully (2004) produziu bolos com a farinha de yacon e conseguiu adquirir um produto com alta aceitabilidade e que pudesse oferecer maior quantidade de fibras, menor valor calórico e constatar a presença de inulina e fruto-oligossacarídeo. Já Oliveira et al. (2013), o utilizar extratos de yacon na alimentação diária de ratos, obteve como respostas o aumento do colesterol bom e reduzir o colesterol total, triglicerídeos e diversas lipoproteínas, que são responsáveis por problemas cardiovasculares.

Portanto, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a cinética de secagem de yacon determinando o coeficiente de difusividade efetiva do material, ajustar os dados experimentais em modelos matemáticos, definindo o mais adequado na representação do processo de desidratação do yacon.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Material

Para a realização do experimento, o yacon adquirido no comércio local de Dourados-MS, foi higienizado e retirou-se as partes indesejadas do tubérculo. Em sequência, cortou-o em fatias circulares de 0,4 cm de espessura e diâmetro médio de 5,75 cm, pesadas em balança eletrônica analítica, dispendo sobre vidro-relógio e colocadas em secador convectivo de bandejas, temperatura do ar a  $70 \pm 2$  °C e velocidade do ar constante de aproximadamente  $2 \text{ m.s}^{-1}$ .

### 2.2 Determinação da cinética de secagem

Para se obter os dados experimentais do yacon desidratado, as fatias foram pesadas nas duas primeiras horas em um intervalo de 15 minutos, terceira e quarta a cada 30 minutos e, assim, em intervalos de 1 hora até se obter um peso constante da amostra, determinando a umidade de equilíbrio ( $X_e$ ) pela última pesagem constante. A amostra permaneceu no secador até completar 24 horas, na qual, foi novamente pesada e obtido o peso final da amostra seca ( $W_{ss}$ ). A umidade inicial e ao longo do tempo ( $X_t$ ) para as amostras analisadas de yacon foram determinadas com o emprego o peso da água evaporada e do peso final da amostra seca ( $W_{ss}$ ).

Com os dados obtidos foram construídas a curva típicas de secagem e a taxa de secagem ( $R_a$ ), sendo a curva de secagem obtida plotando-se a umidade em função do tempo, durante o período de secagem. A curva da taxa de secagem ( $\text{gH}_2\text{O}/\text{min.cm}^2$ )

foram obtidas a partir do método numérico com a derivação dos dados de umidade em relação ao tempo, além do peso final da amostra seca e área superficial (A) da amostra, a qual foi determinada pela aproximação à área transversal de um cilindro, utilizando o diâmetro médio da amostra inicial. Assim, obteve a taxa de secagem das amostras expostas ao ar de secagem conforme a Equação 1.

$$Ra = \frac{W_{ss} \cdot \Delta X}{A \cdot \Delta t} \quad (1)$$

O adimensional de umidade livre (Y) foi obtido através da Equação 2,

$$Y = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} \quad (2)$$

em que  $X_t$  = teor de umidade do produto ao longo do tempo, ( $g_{H_2O}/g$  sólido seco);  $X_0$  = teor de umidade inicial do produto ( $g_{H_2O}/g$  sólido seco);  $X_e$  = teor de umidade de equilíbrio do produto ( $g_{H_2O}/g$  sólido seco).

### 2.3 Modelagem matemática

Os dados experimentais foram ajustados de acordo com os modelos mais utilizados para secagem de alimentos, sendo os descritos pela 2ª Lei de Fick (Equação 3), Page (Equação 4) e Midilli (Equação 5), que relacionam o adimensional de umidade (Y) pelo tempo de secagem (t).

$$Y = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{8}{\pi^2} e^{-Def \left(\frac{\pi}{2L}\right)^2 t} \quad (3)$$

$$Y = e^{-kt^n} \quad (4)$$

$$Y = ae^{-kt^n} + bt \quad (5)$$

em que t é o tempo de secagem (min); k o coeficiente de secagem ( $\text{min}^{-1}$ ); a, b constantes dos modelos (adimensional); L refere-se a espessura (cm);  $D_{ef}$  ao coeficiente de difusão efetivo ( $\text{cm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$ ).

A difusividade efetiva ( $D_{ef}$ ) da água no interior do produto foi determinada a partir da 2ª Lei de Fick (Equação 3), desconsiderando-se a contração volumétrica da amostra e com aproximação para placa plana (CRANK, 1975), sendo a equação truncada no primeiro termo (MENEZES et al., 2013a), com valores constantes para a espessura, bem como para as temperaturas e para a umidade inicial e de equilíbrio.

Como critério de seleção, para o modelo que melhor descreve o processo de

secagem do yacon utilizou-se, além do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o erro quadrático médio (MSE) (Equação 6) e o erro percentual médio absoluto (MAPE) (Equação 7).

$$\text{MSE} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y_t - F_t)^2 \quad (6)$$

$$\text{MAPE} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{Y_t - F_t}{Y_t} \right| \quad (7)$$

em que  $Y_t$  = valores preditos pelo modelo matemático;  $F_t$  = valores obtidos experimentalmente;  $n$  = número de observações ao longo do experimento.

O MSE é uma medida estatística padrão, o qual pode ser utilizado para definir o modelo de previsão mais preciso, quanto mais próximo de zero, mais preciso será o modelo ajustado. O MAPE representa uma medida de erro relativa e é considerado como uma das medidas mais utilizadas para se avaliar os modelos de previsão, segundo Reis et al. (2011). O modelo pode ser considerado preditivo quando são encontrados valores inferiores a 10% para este parâmetro.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 demonstra os dados experimentais obtidos na secagem das fatias de yacon.

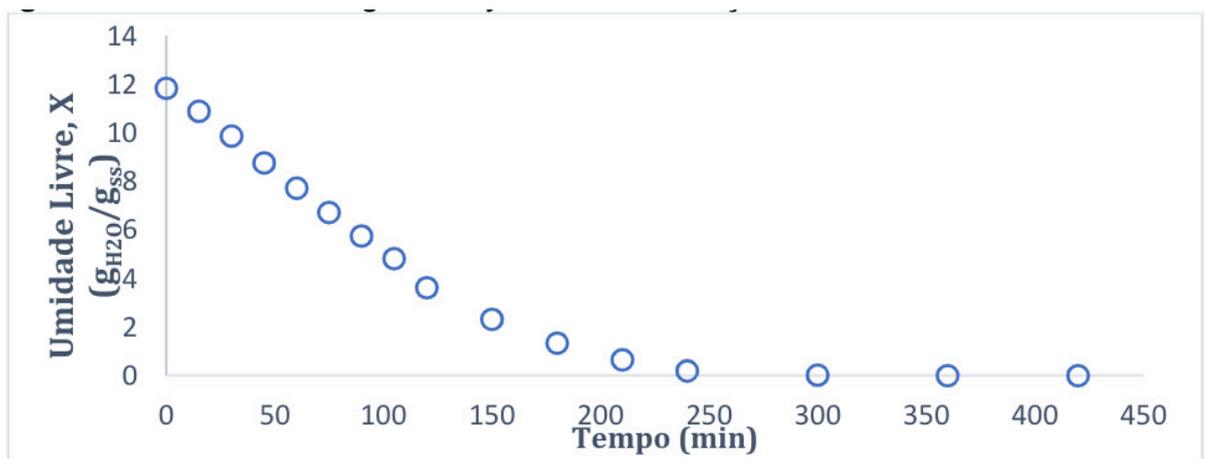


Figura 1. Curva de secagem do yacon em condições constantes a 70°C.

Constata-se, na Figura 1, que a umidade livre da amostra de yacon diminuiu ao longo do tempo, sendo que se tornou constante a partir de aproximadamente 250 minutos. Esse fato deve-se ao corte e a exposição das amostras ao calor e circulação de ar da estufa, na qual foi realizado o processo de secagem. O yacon mostrou uma umidade inicial de 11,84 ( $\text{g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{g}_{\text{ss}}$ ) e umidade de equilíbrio ( $X_e$ ) de  $1,98 \times 10^2$  ( $\text{g}_{\text{H}_2\text{O}}/$

$g_{ss}$ ), sendo necessárias cerca de 6 horas para as fatias de yacon adquirissem peso constante.

A curva de taxa de secagem apresentada na Figura 2, apresenta o perfil de velocidade de secagem pelo conteúdo de umidade.

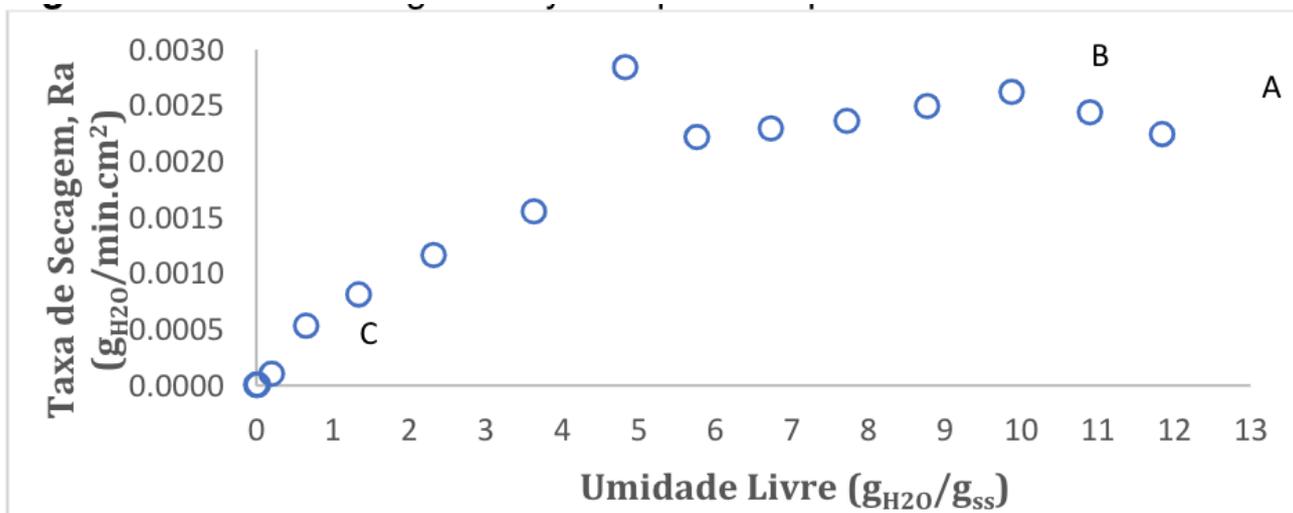


Figura 2. Taxa de secagem do yacon para temperatura de 70°C.

Verifica-se a partir da análise dos dados que no início do processo, a remoção de umidade foi significativamente mais elevada quando comparada ao período final do processo. Conforme Vilela e Artur (2008), inicialmente, há a formação de uma película de água sobre a parte externa dos alimentos fatiados e assim, facilita a retirada da água. A curva da Figura 2, apresenta o período de acomodação inicial do material no segmento (A-B) da curva, em seguida, se observa um período de taxa decrescente (B-C).

Nesta situação, verifica-se que a cinética de secagem do yacon não demonstra período de taxa constante, devido a difusão se tornar o mecanismo físico dominante que rege o movimento da umidade na amostra, e, por isso, não ocorre período de taxa constante na secagem de alimentos, como observado por Menezes et al. (2013b).

Utilizando os dados referentes ao período de taxa decrescente, ajustou-se os modelos da 2ª Lei de Fick, Page e Midilli, aos dados experimentais da secagem do yacon, e obteve-as curvas de adimensional de umidade livre em função do tempo, como é ilustrado na Figura 3.

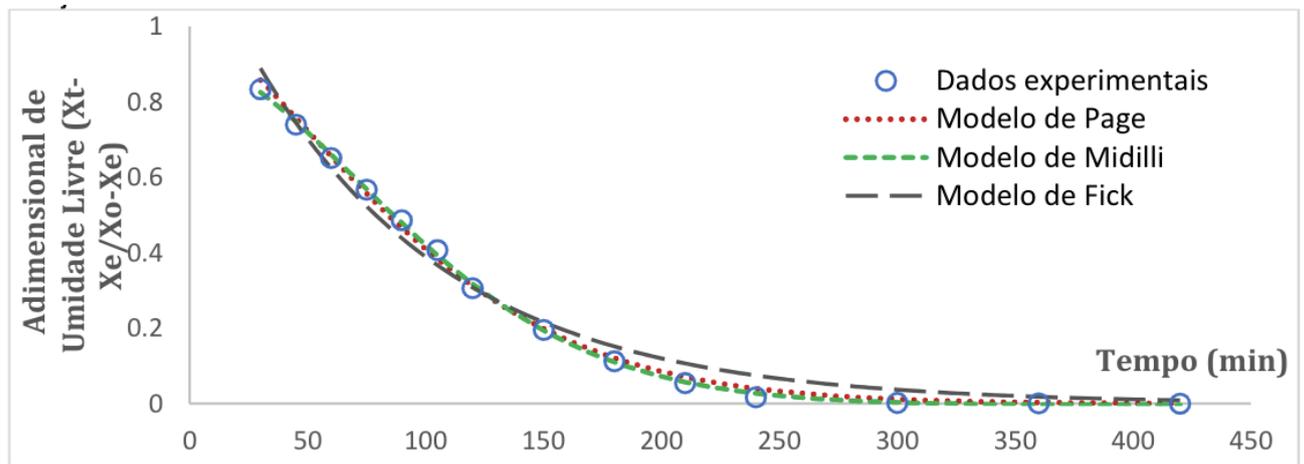


Figura 3. Curva experimental de cinética de secagem do yacon na temperatura de 70°C com ajuste de diferentes modelos matemáticos.

A Tabela 1, apresenta os valores dos coeficientes e constantes dos modelos ajustados aos dados experimentais da secagem do yacon. Também é exposto os critérios de avaliação dos modelos aplicados, sendo eles a média percentual absoluta do erro (MAPE), o erro quadrático médio (MSE) e os coeficientes de determinação ( $R^2$ ).

As curvas cinéticas apresentadas na Figura 3 foram avaliadas, sendo que os  $R^2$  para todos modelos avaliados, foram superiores a 0,98, fato que indica que os modelos se ajustaram satisfatoriamente aos dados experimentais, com destaque para o modelo de Midilli, por atingir o maior valor em relação aos demais modelos. Porém, o coeficiente de determinação não constitui sozinho um bom critério para a seleção de modelos não lineares, sendo assim, utilizados o MAPE e MSE.

		Coeficientes	MAPE (%)	MSE (decimal)	$R^2$ (decimal)	-Def (cm <sup>2</sup> .min <sup>-1</sup> )
Fick	a	1,2665	176,9185	1,3459x10 <sup>-3</sup>	0,9822	7,6388x10 <sup>-4</sup>
	k	-1,1700x10 <sup>-2</sup>				
Page	k	1,1000x10 <sup>-3</sup>	52,2874	2,1534x10 <sup>-4</sup>	0,9972	
	n	1,4639				
Midilli	a	0,9118	11,7714	4,8694x10 <sup>-5</sup>	0,9992	
	k	2,9878x10 <sup>-4</sup>				
	n	1,7055				
	b	-9,1366 <sup>-6</sup>				

Tabela 1. Parâmetros e critérios de avaliação obtidos a partir do ajuste dos modelos aos dados experimentais de secagem do yacon na temperatura de 70 °C.

k: coeficiente de secagem (min<sup>-1</sup>); a, b, n: coeficientes utilizados nos modelos; MAPE: erro percentual médio absoluto (%); MSE: erro quadrático médio;  $R^2$ : coeficiente de determinação.

Portanto, pela análise dos erros estatísticos contidos da Tabela 1, em relação aos valores obtidos para o MSE, verifica-se que os três modelos avaliados apresentaram valores adequados e reduzidos de erros, sendo o modelo de Midilli o mais preciso

seguido do modelo de Page. Já em relação a capacidade de predição do modelo, ou seja, quando avalia-se apenas o valor do MAPE, conclui-se que nenhum dos modelos pode ser considerado preditivo, pois não obtiveram valores inferiores a 10%, porém, o modelo de Midilli é o que mais se aproxima da predição do processo.

Desta forma, é possível afirmar que dentre os modelos matemáticos analisados, o que melhor descreve a cinética de secagem do yacon é o modelo de Midilli. Lopes et al. (2015) que realizou ajustes de modelos matemáticos para a secagem de yacon, constatou, também, que o modelo de Midilli foi o que melhor representou a cinética de secagem.

A partir do coeficiente de secagem ( $k$ ) no valor de  $-1,1700 \times 10^{-2} \text{ min}^{-1}$ , obtido pela equação do modelo da 2ª Lei de Fick, calculou-se o coeficiente de difusão efetiva ( $D_{ef}$ ) para o yacon, obtendo-se um valor de  $7,6388 \times 10^{-4} \text{ cm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$ . Autores como Arévalo-Pinedo e Murr (2005) determinaram o coeficiente difusivo de cenoura e abobora *in natura* como sendo de  $7,473 \times 10^{-6}$  e  $1,2198 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$ , respectivamente. Assim como na secagem de batatas realizada por Dantas *et al.* (2009), o coeficiente de difusividade efetivo encontrado foi de  $2,6649 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$ . Quando comparado como estes três exemplos, verifica-se que o coeficiente difusivo do yacon encontrado neste trabalho é superior, fato que determina a saída da água do alimento mais rapidamente.

Desta forma, o valor do coeficiente de difusão efetiva obtida no experimento apresenta-se condizente com a faixa de valores encontrada na literatura para este tipo de material. Ressalta-se que  $D_{ef}$  pode estar relacionado com a temperatura de secagem, velocidade do ar de circulação, estrutura morfológica do alimento e, também, a espessura das amostras.

## 4 | CONCLUSÕES

O comportamento das curvas do adimensional de umidade e da taxa de secagem obtidos foi compatível com a maioria das matérias-primas alimentícias verificadas na literatura, com redução do teor de umidade ao longo do tempo de secagem. Através do experimento foi possível determinar que o modelo matemático que melhor descreve o processo de secagem do yacon é o de Midilli, seguido do modelo de Page. Para a determinação da difusividade efetiva foi utilizada a 2ª Lei de Fick para superfícies planas, onde analiticamente é desconsiderada a redução de volume através da contração da matéria, mesmo com essa simplificação, o resultado obtido de  $D_{ef}$  no valor de  $7,6388 \times 10^{-4} \text{ cm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$  pode ser considerado adequado e condizente com a faixa de valores encontrados na literatura para este tipo de produto alimentício.

## REFERÊNCIAS

- ARÉVALO-PINEDO, A.; MURR, F. E. X. **Influência da pressão, temperatura e pré-tratamentos na secagem a vácuo de cenoura e abóbora**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 25, n. 4, p. 636–643, 2005.
- BONET, M. E. B.; MESON, O.; DE LEBLANC, A. M.; DOGI, C. A.; CHAVES, S.; KORTSARZ, A.; GRAU, A.; PERDIGÓN, G. **Prebiotic effect of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) on intestinal mucosa using a mouse model**. Food and Agricultural Immunology, v. 21, n. 2, 2010.
- BLACKADDER, D. A.; NEDDERMAN, R. M. **Manual de operações unitárias**. São Paulo: ed. Hemus, 2008.
- CRANK, J. **The mathematics of diffusion**. Ed. 2. Oxford: Clarendon Press, 1975.
- DANTAS, T.; JÚNIOR, F. E. S.; SOUZA, D.; MEDEIROS, M. **Estudo da transferência de calor e massa e da cinética de secagem em placas planas de batata inglesa**. VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 2009.
- DIONELLO, R. G.; BERBERT, P. A.; MOLINA, M. A. B. D.; PEREIRA, R. D. C.; VIANA, A. P.; CARLESSO, V. D. O. **Desidratação osmótica de frutos de duas cultivares de abacaxi em xarope de açúcar invertido**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 13, n. 5, p. 596-605, 2009.
- FOOD INGREDIENTS BRASIL. **Dossiê Alimentos Desidratados**, 2013.
- GUSSO, A. P.; MATTANNA, P.; RICHARDS II, N. **Yacon: benefícios à saúde e aplicações tecnológicas**. Ciência Rural, v. 4545, n. 55, p. 912–919, 2015.
- KARATHANOS, V.T.; BELESSIOTIS, V.G. **Application of a thin-layer equation to drying data of fresh and semi-dried fruits**. Journal of Agricultural Engineering Research, v. 74, p. 355-36, 1999.
- LOPES, F. J.; MELLO JR, R. E.; ALVES, G. E.; MENDONÇA, K.; SILVA, K.; CORRÊA, J. L. G. **Ajuste de modelos semiteóricos para predição de cinética de secagem de yacon**. In: Congresso brasileiro de sistemas particulados, São Carlos. 2015.
- MENEZES, M. L.; STROHER, A. P.; PERINE, P.; PEREIRA, N. C.; BARROS, S. T. D. **Análise da cinética e ajustes de modelos matemáticos aos dados de secagem do bagaço do maracujá-amarelo**. Engvista, v. 15, n. 2, p. 176-186, 2013a.
- MENEZES, M. L.; KUNZ, C. C.; PERINE, P.; PEREIRA, N. C.; ANDREO, O. A.; BARROS, S. T. D. **Analysis of convective drying kinetics of yellow passion fruit bagasse**. Acta Scientiarum. Technology, v. 35, n. 2, p. 291-298, 2013b.
- MOSCATTO, J. A.; PRUDÊNCIO-FERREIRA, S. H.; HAULY, M. C. O. **Farinha de yacon e inulina como ingredientes na formulação de bolo de chocolate**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 24, n. 4, p. 634-640, 2004.
- OLIVEIRA, G.O.; BRAGA, C. P., FERNANDES, A. A. H. **Improvement of biochemical parameters in type 1 diabetic rats after the roots aqueous extract of yacon (*Smallanthus sonchifolius*)**. Food and Chemical Toxicology, v. 59, p. 256-260, 2013.
- REIS, R. D.; BARBOSA; L. S., LIMA; M. D. L.; REIS, J. D. S.; DEVILLA, I. A.; ASCHERI, D. P. **Modelagem matemática da secagem da pimenta Cumari do Pará**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 15, n. 4, p. 347–353., 2011.
- VILELA, C. A. A.; ARTUR, P. O. **Secagem do açafrão (*Curcuma longa L.*) em diferentes cortes geométricos**. Food Science and Technology, v. 28, n. 29, p. 387–394, 2008.

## CINÉTICA DE SECAGEM DA FRUTA DE NONI (*Morinda citrifolia linn*): INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NA DIFUSIVIDADE EFETIVA

### **Thayná de Lima Costa**

Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Faculdade de Engenharia (FAEN)

Dourados - Mato Grosso do Sul, Brasil.

### **Fernanda de Oliveira Coaresma**

Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Faculdade de Engenharia (FAEN)

Dourados - Mato Grosso do Sul, Brasil.

### **Bruna Martinhago**

Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Faculdade de Engenharia (FAEN)

Dourados - Mato Grosso do Sul, Brasil.

### **Raquel Manozzo Galante**

Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Faculdade de Engenharia (FAEN)

Dourados - Mato Grosso do Sul, Brasil.

### **Leandro Osmar Werle**

Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Faculdade de Engenharia (FAEN)

Dourados - Mato Grosso do Sul, Brasil.

**RESUMO:** O Noni (*Morinda citrifolia linn*) é uma fruta pouco conhecida no Brasil, mas com um aumento no interesse em relação aos benefícios presentes na planta. Importante planta medicinal pelo uso popular como antineoplásico, sendo utilizado como terapia coadjuvante no tratamento de cânceres como os da cavidade abdominal, fígado, pulmão, pele, entre outros. Este trabalho teve como objetivo

o estudo da cinética de secagem de fatias de noni pelo mecanismo da difusão mássica com emprego da 2ª lei de Fick e avaliar a influência da temperatura na determinação do coeficiente difusivo de transferência de massa. Para tal foi empregado um secador de bandejas, sendo as amostras foram cortadas em fatias de 4 mm de espessura e submetidas à secagem convectiva à temperatura de 60°C e 70°C±2°C com velocidade do ar de secagem de 2 m/s. Com base nos resultados verificou-se que tanto a cinética de secagem quanto os valores de difusividade efetiva encontrados corroboram com a literatura, sendo de 7,4620x10<sup>-4</sup> cm<sup>2</sup>/min e 9,1798x10<sup>-4</sup> cm<sup>2</sup>/min para as temperaturas de 60 e 70°C, respectivamente. A influência da temperatura no coeficiente de difusão também foi observado, sendo que com o aumento da temperatura tem-se um aumento deste parâmetro.

**PALAVRAS-CHAVE:** Segunda Lei de Fick, difusividade, desidratação, cinética.

**ABSTRACT:** Noni (*Morinda Citrifolia Linn*) is a little known fruit in Brazil, but with an increase in interest in relation to the benefits present in the plant. Important medicinal plant for popular use as antineoplastic, being used as adjuvant therapy in the treatment of cancers such as the abdominal cavity, liver, lung, skin, among others. The aim of this work was to study the kinetics of

noni slices drying by the mass diffusion mechanism using the second law of Fick and to evaluate the influence of temperature on the determination of the diffusion coefficient of mass transfer. For this purpose, a tray dryer was used and the samples were cut into slices of 4 mm in thickness and subjected to convective drying at 60 °C and 70 °C ± 2 °C with drying air velocity of 2 m/s. Based on the results, it was verified that the drying kinetics and the effective diffusivity values found are in agreement with the literature, being  $7,4620 \times 10^{-4}$  cm<sup>2</sup>/min and  $9,11798 \times 10^{-4}$  cm<sup>2</sup>/min for the temperatures of 60 and 70 °C, respectively. The influence of the temperature on the diffusion coefficient was also observed, and due to the increase in temperature as a result there is an increase of this parameter.

**KEYWORDS:** *Fick's second law*, diffusivity, dehydration, kinetics.

## 1 | INTRODUÇÃO

A *Morinda citrifolia linn*, conhecida por Noni ou Noni Taiti, ganha destaque como importante planta medicinal pelo uso popular como antineoplásico. Ela é uma pequena árvore da família das *Rubiaceae*, originária do Sudoeste da Ásia, sendo difundida pelo homem através da Índia e Oceano Pacífico até as ilhas da Polinésia Francesa (Chan-Blanco *et al.*, 2006).

O emprego tradicional da *Morinda citrifolia L.* pelos polinésios atribuía-se aos efeitos relacionados com atividade antibacteriana, antiviral, antifúngica, antitumoral, anti-helmíntica, analgésica, anti-inflamatória, hipotensora e imune estimulante. Atualmente, sabe-se que os benefícios da fruta, vão além dos que os polinésios conheciam, sendo utilizado como terapia coadjuvante no tratamento de cânceres como os da cavidade abdominal, fígado, pulmão, pele, entre outros (Araújo; Oliveira; Coriolano, 2007).

Praticamente todas as partes da planta de noni são utilizadas e a cada uma delas são atribuídas propriedades medicinais distintas. É atribuída propriedade adstringente à casca, sendo utilizada no tratamento da malária; as folhas usadas como analgésico e para inflamações externas; as flores empregadas no tratamento de inflamações oculares; o extrato das raízes é usado para baixar a pressão sanguínea; e sementes utilizadas como laxante (Correia, 2010).

A introdução do fruto da *Morinda citrifolia linn* é recente no Brasil e ainda não há difusão das informações sobre o fruto suficiente para que haja incentivo ao cultivo em escala comercial, porém, nas últimas décadas, observou-se um aumento significativo desse interesse em relação aos produtos contendo essa planta (Araújo; Oliveira; Coriolano, 2007).

As sementes, segundo Salinas (2002), constituem alimentos concentrados, de fácil conservação, bastando apenas preservá-las da umidade, sendo utilizados na alimentação do gado e das aves e quando transformados em proteínas e gorduras são inseridos à alimentação humana, pois são de fácil industrialização, permitindo

apresentação muito diversificada.

Em virtude do elevado teor de umidade, os frutos de noni são altamente perecíveis. A umidade pode influenciar a multiplicação, a atividade metabólica, a resistência e a sobrevivência dos microrganismos presentes nos alimentos (Souza Filho *et al.*, 1999).

Por esse motivo, resolveu-se realizar pesquisa com os frutos da espécie *Morinda citrifolia linn*, a fim de estudar produto seco para o consumo na dieta alimentar.

Segundo Corrêa *et al.* (2004) a secagem tem o objetivo cessar as alterações químicas dos tecidos das plantas e evitar possíveis degradações durante o seu armazenamento, mantendo, assim, suas características físicas e químicas por mais tempo.

A secagem é uma operação unitária tradicionalmente conhecida em que o conteúdo de umidade do material é reduzido por meio do contato íntimo com ar aquecido. Com a redução do excesso de umidade aumenta-se a vida útil do produto, reduz seu volume e, com isso, facilita-se o manuseio e transporte. Além de promover estabilidade dos componentes químicos e proteger o produto contra a degradação enzimática oxidativa (Park; Bin; Brod, 2002).

A maioria dos modelos utilizados para o estudo da cinética de secagem estão baseados na segunda Lei de Fick e nas soluções analíticas da equação de difusão. Segundo Geankoplis (1998), na secagem de um sólido mediante um gás, fixadas temperaturas e umidade, manifesta-se sempre um determinado tipo de comportamento do produto. Desta forma, este trabalho teve como objetivo o estudo da cinética de secagem de fatias de noni (*Morinda citrifolia linn*) com emprego da teoria difusional da 2ª lei de Fick, em um secador de bandejas com velocidade do ar constante e avaliar a influência da temperatura na determinação do coeficiente difusivo de transferência de massa para a fruta alvo do estudo.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Material

Para o experimento a fruta noni (*Morinda citrifolia linn*) foi adquirida no comércio local de Dourados-MS, onde cortou-se a fruta em fatias de 0,4 cm de espessura, sendo o diâmetro médio das fatias de 5,75 cm. Estas foram pesadas em balança eletrônica analítica e colocadas em secador convectivo de bandejas com fluxo de ar vertical e entrada superior, temperatura do ar a 60 e 70±2 °C e velocidade do ar constante de aproximadamente 2 m/s. A secagem ocorreu com fluxo de ar paralelamente à superfície da amostra, sendo utilizado para pesagem uma balança eletrônica analítica (OHAUS Pioneer PA413) com precisão de 0,01g.

## 2.2 Determinação da Cinética de Secagem

Para realização do experimento, foi necessário controle do fluxo de ar e da temperatura no secador. Após a verificação da estabilização da temperatura do ar de secagem da estufa nas temperaturas pré-determinadas de 60 e 70°C foram medidos os pesos das amostras em períodos diferentes de tempo; nas primeiras 2 horas, a amostra foi pesada em intervalos de 15 minutos, nas duas horas seguintes, de 30 em 30 minutos, e a partir da quinta hora de experimento, pesou-se em intervalos de 1 hora até a obtenção de peso constante até atingir a umidade de equilíbrio ( $X_e$ ). A amostra permaneceu no secador até completar 24 horas, na qual, foi novamente pesada e obtido o peso final da amostra seca ( $W_{ss}$ ). A umidade inicial e ao longo do tempo ( $X_t$ ) para as amostras analisadas de noni foram determinadas com o emprego do peso da água evaporada e do peso final da amostra seca ( $W_{ss}$ ).

Com os dados obtidos foram construídas a curvas típicas de secagem e a taxa de secagem ( $R_a$ , expressa em  $gH_2O/min.cm^2$ ), sendo a curva de secagem obtida plotando-se a umidade em função do tempo, durante o período de secagem, além do peso final da amostra seca e da área superficial ( $A$ ) das amostras expostas ao ar de secagem, com a Equação 1.

$$R_a = \frac{W_{ss} \cdot \Delta X}{A \cdot \Delta t} \quad (1)$$

O adimensional de umidade livre ( $Y$ ) foi obtido através da Equação 2.

$$Y = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} \quad (2)$$

Em que  $X_t$  = teor de umidade do produto ao longo do tempo, ( $gH_2O/g$  sólido seco);  $X_0$  = teor de umidade inicial do produto ( $gH_2O/g$  sólido seco);  $X_e$  = teor de umidade de equilíbrio do produto ( $gH_2O/g$  sólido seco).

## 2.3 Modelagem Matemática para Determinação do Coeficiente de Difusividade Efetiva

A teoria difusional, empregada neste trabalho, apoia-se exclusivamente sobre a Lei de Fick, que expressa que o fluxo de massa por unidade de área é proporcional ao gradiente de concentração de água. No presente trabalho, a difusividade efetiva ( $D_{ef}$ ) da água no interior do produto foi determinada a partir da 2ª Lei de Fick (Equação 3), desconsiderando-se a contração volumétrica da amostra e com aproximação para placa plana (Cranck, 1975), sendo a equação truncada no primeiro termo (De Menezes *et al.*, 2013a), com valores constantes para a espessura, bem como para as

temperaturas e para a umidade inicial e de equilíbrio. As Equações 3 a 6 descrevem a modelagem utilizada para obtenção da difusividade efetiva empregando método gráfico com ajuste exponencial, de acordo com Geankoplis (1998).

$$Y = \frac{X_t - X_e}{X_o - X_e} = \frac{8}{\pi^2} e^{-Def \left(\frac{\pi}{2L}\right)^2 t} \quad (3)$$

A Equação 3, pode ser reescrita, obtendo-se a Equação 4.

$$Y = \frac{X_t - X_e}{X_o - X_e} = A e^{kt} \quad (4)$$

Onde A e k são parâmetros do modelo, os quais representam a constante do modelo e o coeficiente de secagem, respectivamente. Isolando-se a coeficiente de secagem (k) a partir da equação anterior, obtém-se a Equação 5, e a partir dela é possível determinar o coeficiente de difusão efetivo do produto ( $D_{ef}$ ) (Equação 6).

$$k = -Def \left(\frac{\pi}{2L}\right)^2 \quad (5)$$

$$-Def = \frac{kAL^2}{\pi^2} \quad (6)$$

Em que t = tempo de secagem (min); k = coeficientes de secagem ( $\text{min}^{-1}$ ); a = constante do modelo, adimensional; L = espessura (mm);  $D_{ef}$  = coeficiente de difusão efetivo ( $\text{cm}^2 \text{min}^{-1}$ ).

Como critério de avaliação do ajuste do modelo que descreve o processo de secagem utilizou-se, além do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o erro quadrático médio (MSE) (Equação 7). O MSE é uma medida estatística padrão, o qual pode ser utilizado para definir o modelo de previsão mais preciso, quanto mais próximo de zero, mais preciso será o modelo ajustado.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y_t - F_t)^2 \quad (7)$$

Em que  $Y_t$  = valores preditos pelo modelo matemático;  $F_t$  = valores obtidos experimentalmente; n = número de observações ao longo do experimento.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

A curva típica de secagem do noni é ilustrada na Figura 1, a qual relaciona a umidade livre da amostra pelo tempo de secagem. Percebe-se que nas primeiras 2 horas o conteúdo de umidade das amostras diminuiu rapidamente, e após esse período a secagem tornou-se mais lenta, comportamento semelhante foi observado por Chaguri *et al.* (2014). No início do processo, o calor fornecido pela convecção é utilizado na forma de calor sensível ocasionando um rápido aquecimento das amostras. No final do processo, há uma propensão da umidade se tornar constante, de acordo com Canochauca (2000), nesse período a água interage com os grupos polares das moléculas dos constituintes do produto dificultando a transferência de umidade do produto para o ar. Esse comportamento foi observado na Figura 1.

Além disso, observa-se que na temperatura de 60°C, o tempo para atingir a umidade de equilíbrio da amostra foi de 360 min (6h), já para a temperatura de 70°C o tempo de estabilização foi de 300 min (5h), ou seja, na secagem a 70°C, mesmo a amostra contendo uma umidade inicial levemente superior, verificou-se uma redução 1h no tempo de secagem, em função da elevação de 10 °C na temperatura do secador. Ferreira *et al.* (2017), observou que no processo de secagem do noni, obteve-se um comportamento de modo uniforme e contínuo para todas as temperaturas estudadas (50°C, 60°C, 70°C e 80°C), onde pode-se afirmar que a temperatura do ar de secagem afeta o processo reduzindo o tempo de secagem em temperaturas mais elevadas.

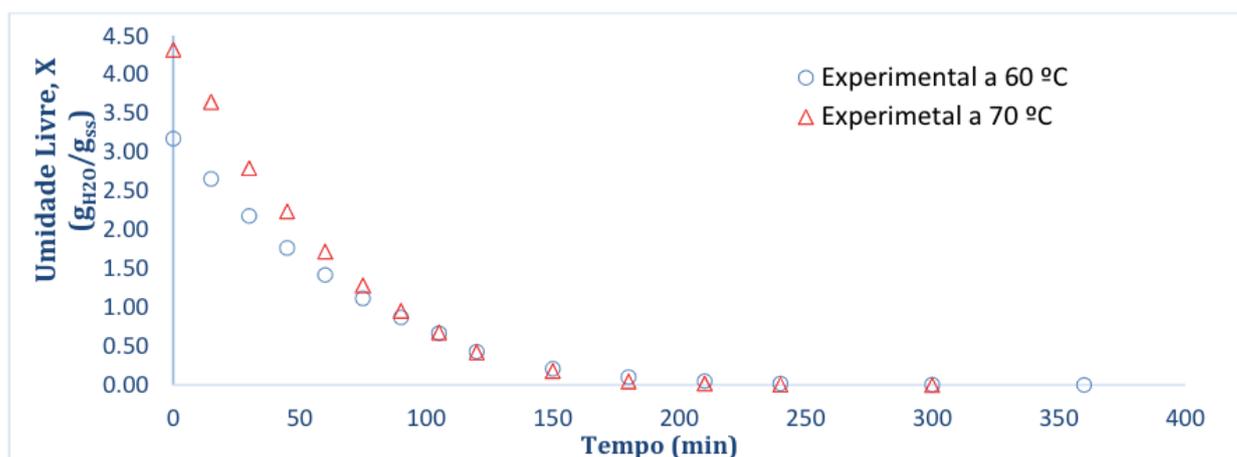


Figura 1. Curvas de secagem de noni em condições constantes e temperaturas de 60 e 70°C.

A curva de taxa de secagem ( $R_a$ ) é apresentada na Figura 2, nesta curva pode-se observar o perfil de velocidade de secagem pelo conteúdo de umidade. Verifica-se que no início do processo, a remoção de umidade foi mais elevada quando comparada ao período final do processo, sendo que a taxa de secagem para temperatura de 70°C foi ligeiramente superior à de 60°C, não possuindo efeito tão pronunciado. Park, Vohnikova e Brod (2002) citam que a curva de taxa de secagem resulta da derivação da curva de secagem em relação à quantidade de umidade e pode ser dividida em

período de taxa constante de secagem e período de taxa decrescente.

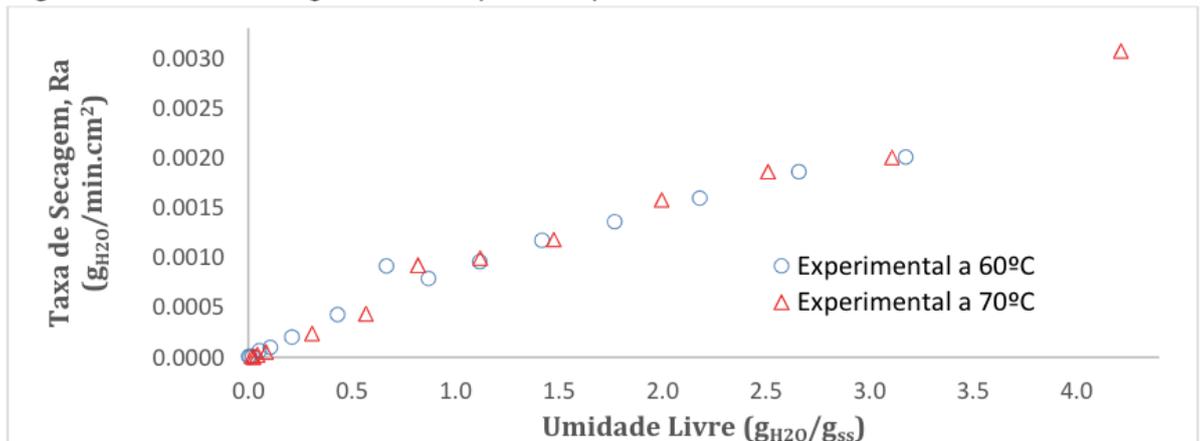


Figura 2. Taxa de secagem do Noni para temperaturas de 60 e 70°C.

Na Figura 2 é possível perceber apenas taxas de secagem decrescente para ambas as amostras, observa-se que a cinética de secagem do noni não apresentara o período de taxa constante. Desta forma, para a secagem deste fruto, a difusão é o mecanismo físico dominante que rege o movimento da umidade na amostra. A não ocorrência de período de taxa constante também foi observado por De Menezes *et al.* (2013b), sendo este comportamento característico de secagem de matérias primas orgânicos alimentícios.

Utilizando os dados referentes ao período de taxa decrescente, ajustou-se o modelo da 2ª Lei de Fick (Equação 3) aos dados experimentais da secagem do noni, e obteve-as curvas de adimensional de umidade livre em função do tempo, como é ilustrado na Figura 3. A Tabela 1, mostra os valores dos parâmetros dos modelos ajustados aos dados experimentais, e expressa também o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o erro estatístico para ambas cinéticas.

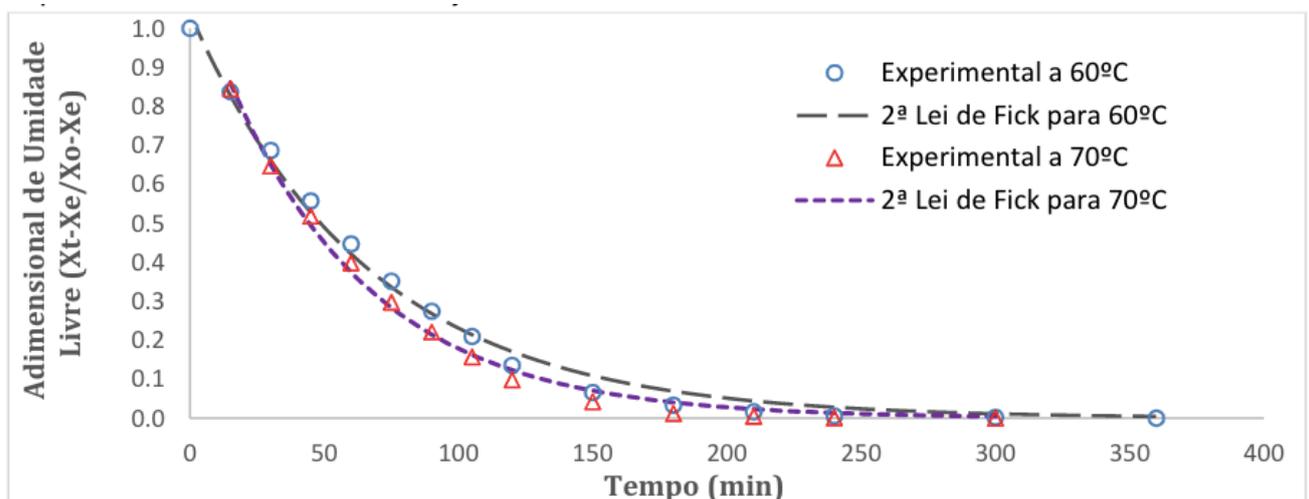


Figura 3. Cinética de secagem de noni em temperaturas de 60°C e 70°C, valores experimentais e estimados com ajuste do modelo difusível da 2ª Lei de Fick.

Com base na Tabela 1, verifica-se que o modelo ajustado apresentou coeficientes de determinação ( $R^2$ ) superiores a 0,99, e erros reduzidos para ambas temperaturas, sinalizando, de acordo com Madamba *et al.* (1996) uma representação satisfatória do processo de secagem pelo modelo e um ajuste preciso.

Modelo matemático		Parâmetros		$R^2$ (decimal)	MSE (decimal)
		A	k ( $\text{min}^{-1}$ )		
2ª Lei de Fick	60°C	1,03833	-0,01503	0,9931	$6,8890 \times 10^{-4}$
	70°C	1,13583	-0,01849	0,9946	$1,5268 \times 10^{-4}$

Tabela 1. Parâmetros obtidos e critérios de avaliação a partir do ajuste do modelo da 2ª Lei de Fick aos dados experimentais de secagem do noni nas temperaturas de 60 e 70 °C.

Com os valores das constantes de secagem (k) para as duas temperaturas avaliadas foram possíveis determinar o coeficiente de difusividade efetiva do noni ( $D_{ef}$ ) nas temperaturas de 60 e 70°C, sendo os valores de  $7,4620 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{min}$  e  $9,1798 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{min}$ , respectivamente.

De acordo com Madamba *et al.* (1996) para secagem de produtos agrícolas os valores do coeficiente de difusão apresentam-se na ordem de  $10^{-4}$  a  $10^{-6} \text{ cm}^2.\text{min}^{-1}$ , desta forma os valores encontrados neste trabalho estão na mesma ordem da verificada na literatura. Verificou-se que de acordo com o aumento da temperatura tem-se um aumento do coeficiente de difusão, comportamento esse que também era esperado e corrobora com o resultado encontrado na Figura 1, na qual verificou-se que a 70°C a secagem encerrou-se 1h antes do que a de 60°C.

O coeficiente de difusão reflete a capacidade de desidratação do material em determinadas condições de secagem. Ressalta-se que coeficiente de difusão efetivo pode estar relacionado com a temperatura de secagem, velocidade do ar de circulação, estrutura morfológica do alimento e, também, a espessura das amostras (Song, 2013).

## 4 | CONCLUSÃO

O comportamento das curvas do adimensional de umidade e da taxa de secagem foi compatível com a maior parte das matérias-primas vegetais e alimentícias verificadas na literatura. Através do experimento foi possível avaliar o efeito da temperatura no coeficiente de difusividade efetivo do fruto de noni, o qual foi determinado utilizando a 2ª Lei de Fick aplicada para superfícies planas, onde analiticamente é desconsiderada a redução de volume através da contração da matéria, mesmo com essa simplificação, os resultados obtidos de  $D_{ef}$  nos valores de  $7.4620 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{min}$  para 60°C e  $9.1798 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{min}$  para 70°C, são considerados adequados e condizentes com a faixa de valores encontrados na literatura para este tipo de produto alimentício.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO E.C.D.; OLIVEIRA R.A.G.D.; CORIOLANO A.T. Uso de plantas medicinais pelos pacientes com câncer de hospitais da rede pública de saúde em João Pessoa (PB). **Espaço saúde (Online)**. 44-52, 2007.
- CANOCHAUCA, M. N. **Avaliação dos parâmetros de qualidade envolvidos na desidratação da banana**. Dissertação de Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Tecnologia de Alimentos, UFV- Universidade Federal de Viçosa, 2000.
- CHAGURI, L. et al. **Cinética de secagem de Kiwi (*Actinidia deliciosa* var. *Hayward*)**. COBEQ. Universidade Federal de São Paulo, Departamento de Engenharia Química. Florianópolis-SC, 2014.
- CHAN-BLANCO, Y. et al. The noni fruit (*Morinda citrifolia* L.): A review of agricultural research, nutritional and therapeutic properties. **Journal of Food Composition and Analysis**, London, v.19, n.6-7, p.645-654, 2006.
- CORRÊA, R. M. Rendimento de óleo essencial e caracterização organoléptica de folhas de asa-peixe submetidas a diferentes métodos de secagem. **Ciência e Agrotecnologia**. 339-344, 2004.
- CORREIA, A. A. S. **Maceração enzimática da polpa do noni (*Morinda citrifolia* L.)** 105f. Dissertação (Mestrado Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal do Ceará, 2010.
- CRANCK, J. **The mathematics of diffusion**. 2 ed., Oxford: Claredon Press, 1975.
- DE MENEZES, M. L. et al. Análise da cinética e ajustes de modelos matemáticos aos dados de secagem do bagaço do maracujá-amarelo. **Engvista**, v. 15, n. 2, p. 176-186, 2013<sup>a</sup>.
- DE MENEZES, M. L. et al. Analysis of convective drying kinetics of yellow passion fruit bagasse. **Acta Scientiarum. Technology**. Maringá-PR, v. 35, n. 2, p. 291-298, 2013b.
- FERREIRA, A. A. C. et al. Efeitos da secagem do fruto de noni sobre a identificação de metabólitos especiais. In: **Congresso Mineiro de Engenharias e Arquitetura-CENAR**, 2017.
- GEANKOPLIS, C. J. **Transport process and unit operations**, 3ed., New Jersey: Prentice Hall, 1998.
- MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. Thin-layer drying characteristics of garlic slices. **Journal of Food Engineering**, v.29, p.75-97, 1996.
- PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Drying of pear d'Anjou with and without osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, v. 56, n. 1, p. 97-103, 2002.
- PARK, K. J.; VOHNIKOVA, Z.; BROD, F. P. R. Evaluation of drying parameters and desorption isotherms of garden mint leaves (*Mentha crispa* L.). **Journal of Food Engineering**, v. 51, n. 3, p. 193-199, 2002.
- SALINAS, R. D. **Alimentos e nutrição: introdução à bromatologia**. Porto Alegre: Artmed. 3 ed., 278 p, 2002.
- SONG, X.Y., 2013. Banana chip drying using far infrared-assisted heat pump. **Agric. Sci. Philipp**, 96 (3), 275–281.
- SOUZA FILHO, M. S. et al. Efeito do branqueamento, processo osmótico, tratamento térmico e armazenamento na estabilidade da vitamina C de pedúnculos de caju processados por métodos combinados. **Food Science and Technology**, Campinas. Vol. 19, n. 2, p.211-213. 1999.

## AVALIAÇÃO DE MODELOS DE SECAGEM E DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DIFUSIVO DE CARÁ (*Dioscorea alata*)

### Luan Gustavo dos Santos

Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Faculdade de Engenharia (FAEN)

Dourados - Mato Grosso do Sul, Brasil

### Cristian Rocha da Silva

Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Faculdade de Engenharia (FAEN)

Dourados - Mato Grosso do Sul, Brasil

### Marcela Felix dos Santos

Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Faculdade de Engenharia (FAEN)

Dourados - Mato Grosso do Sul, Brasil

### Raquel Manozzo Galante

Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Faculdade de Engenharia (FAEN)

Dourados - Mato Grosso do Sul, Brasil

### Leandro Osmar Werle

Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Faculdade de Engenharia (FAEN)

Dourados - Mato Grosso do Sul, Brasil

**RESUMO:** A preocupação com a preservação dos constituintes e o aumento da vida útil dos alimentos ocorre desde a era paleolítica. A redução de água disponível nos alimentos impede reações químicas e reduz o crescimento de microrganismos patogênicos. O processo de secagem tem como finalidade transportar a água disponível no interior dos alimentos para a superfície e, posteriormente, removê-la por

meio da evaporação, realizando fenômeno de troca de calor e massa para a obtenção de um produto alimentício seco. O cará (*Dioscorea alata*) é rico em carboidratos, fibras, proteínas, fósforo, cálcio, ferro e vitamina B1 e B2. Portanto, o presente trabalho tem o intuito de avaliar a cinética de secagem do cará e ajustar modelos matemáticos propostos por Fick, Midilli e Page, bem como, analisar o coeficiente de difusividade da secagem do tubérculo. Com esse propósito, fatias de cará foram colocadas em estufa de circulação a uma temperatura de 70 °C e velocidade constante de 2 m.s<sup>-1</sup>, realizando pesagens até a amostra adquirir peso constante. Dentre os modelos avaliados, utilizando erros estatísticos como critério de avaliação, o modelo de Midilli apresentou melhor representação da cinética de secagem. Os valores do coeficiente de difusividade encontrado foi de 5,5109x10<sup>-5</sup> cm<sup>2</sup>.min<sup>-1</sup>, o qual, se mostra condizente e dentro da faixa de valores encontrados na literatura.

**PALAVRAS-CHAVE:** Modelagem, difusividade, desidratação, cinética.

**ABSTRACT:** The concern with the preservation of the constituents and the increase of the useful life of the food occurs since the Paleolithic era. The reduction of available water in food prevents chemical reactions and combats the growth of deteriorating microorganisms. The purpose of

the drying process is to remove the water available in the food by evaporation, in which the water inside the food is transported to the surface. *Dioscorea alata* is rich in carbohydrates, fibers, proteins, phosphorus, calcium, iron and vitamin B1 and B2. Therefore, the present work intends to evaluate the drying kinetics of the character and to adjust mathematical models proposed by Fick, Midilli and Page, as well as to analyze the diffusivity coefficient of the tuber drying. For this purpose, slices were placed in a circulation oven at a temperature of 70 °C and constant speed of 2 m.s<sup>-1</sup>, weighing until acquired constant weight. Among the models evaluated, using statistical errors as an evaluation criterion, the Midilli model presented a better representation of the drying kinetics. The values of the diffusivity coefficient found were 5.5109x10<sup>-5</sup> cm<sup>2</sup>. min<sup>-1</sup>, which is consistent and within the range of values found in the literature.

**KEYWORDS:** Modeling, diffusivity, dehydration, kinetics.

## 1 | INTRODUÇÃO

A preocupação com a preservação dos constituintes e o aumento da vida útil dos alimentos influenciou o homem a criar maneiras de conservá-los. Percebeu-se que a redução de água disponível nos alimentos impede reações químicas e combate o crescimento de microrganismos deteriorantes. Assim, na década de XVIII, foi criado os primeiros secadores artificiais para alimentos, elevando a produção destes alimentos os quais destinavam-se para a alimentação dos soldados durante o período de viagens e em guerras (Silva, et al., 2016; *Food Ingredients Brasil*, 2013; Martins; Farias, 2002).

A análise da secagem é feita por métodos avaliativos, como a cinética de secagem, dita como a velocidade em função do tempo, em que uma amostra sólida consegue perder sua umidade para o meio ambiente. Tem-se como variáveis a temperatura, velocidade e umidade relativa do ar, nas quais, podem modificar as curvas, de acordo com cada alimento (Celestino, 2010).

Descreve que para uma melhor análise da cinética de secagem, deve-se utilizar modelos de difusividade pois pode-se prever como é a distribuição da água no interior da amostra a ser seca em períodos distintos. A difusividade efetiva é um método baseado na 2<sup>a</sup> Lei de Fick, a qual descreve a variação de massa por unidade de área sendo proporcional ao gradiente de concentração de água (Goneli, et al., 2014; Park; Vohnikova; Brod, 2002).

De acordo com Ferreira (2011), as espécies do gênero *Dioscorea* estão em grande expansão e seu consumo, nos últimos anos, obteve a equivalência de tubérculos comuns como batata inglesa, batata-doce e mandioca. Com isso, Silva et al. (2016) afirma que produção do cará pode aumentar a renda familiar e o seu uso, incrementa e potencializa cardápios de restaurantes e, também, agrega valores nutritivos em merendas escolares.

Ramos et al. (2014), descreve que o cará é rico em carboidratos, fibras, proteínas, fósforo, cálcio, ferro e vitamina B1 e B2. Alves (2000), ainda descreve que, ao secar, a

quantidade de carboidratos encontradas corresponde principalmente a amido, no qual, Ramos (2014), afirma ser superior ao encontrado no milho e mandioca. Com o processo de secagem, o cará pode ser transformado em farinha, tornando-se ingrediente para substituição de farinha branca em massas alimentícias e rações animais.

Feijó et al. (2016), em seu trabalho, concluiu que o uso da farinha de cará na alimentação de poedeiras, estimulou a produção de ovos, melhorou o desempenho e resultados de bioquímica sérica. Já Teixeira (2011), ao produzir pães com farinha de cará-roxo, adquiriu resultados surpreendentes, na qual, os pães ofereciam grande quantidade de atividade antioxidantes e que a aceitação dos pães aumentava simultaneamente com a adição do tubérculo no preparo da massa do pão. Sendo assim, o uso do cará seco, se torna uma alternativa nutritiva e de agregação de valor em produtos processados.

Desta forma, o presente trabalho, teve por objetivo secar fatias de cará (*Dioscorea alata*), ajustar modelos matemáticos aos dados experimentais obtidos pela secagem, verificando qual modelo seria mais representativo ao processo analisado e, assim, calcular a difusividade efetiva em uma determinada temperatura, durante a secagem do tubérculo.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Material

Foi realizado inicialmente o preparo do cará, adquirido no comércio local da cidade de Dourados-MS, descascando-o e cortando em fatias de 0,35 cm de espessura, medindo o diâmetro médio de cada fatia. Um desidratador convectivo de bandejas foi ajustado a uma temperatura de  $70 \pm 2$  °C e velocidade de circulação constante de aproximadamente  $2 \text{ m.s}^{-1}$ . As fatias foram dispostas sobre vidro relógio, pesadas em balança eletrônica analítica e inseridas na bandeja do secador.

### 2.2 Determinação da cinética de secagem

Para a determinação da cinética de secagem, inicialmente a amostra foi pesada determinando seu peso úmido ( $W_{umido}$ ), posteriormente introduzidas no desidratador e pesadas nas duas primeiras horas em um intervalo de 15 minutos, terceira e quarta a cada 30 minutos e, a partir da quinta hora, os intervalos passaram a ser de 1 hora até obter peso constante da amostra, determinando a umidade de equilíbrio ( $X_e$ ). A amostra permaneceu no secador até completar 24 horas, realizando a última pesagem, referente ao peso final da amostra seca ( $W_{ss}$ ).

A umidade inicial e ao longo do tempo ( $X_t$ ) para as amostras analisadas do cará foi determinada empregando o peso da água evaporada e do peso final da amostra seca ( $W_{ss}$ ). Foram construídas a curva típica de secagem plotando-se a umidade em função do tempo, durante o período de secagem.

A taxa de secagem ( $g_{H_2O}/\text{min.cm}^2$ ) descrita pela Equação 1, foi obtida a partir do método numérico com a derivação dos dados de umidade em relação ao tempo, além do peso final da amostra seca e da área superficial (A) da amostra, determinada pela aproximação à área transversal de um cilindro, utilizando o diâmetro médio da amostra inicial.

$$Ra = \frac{W_{ss} \cdot \Delta X}{A \cdot \Delta t} \quad (1)$$

O adimensional de umidade livre (y) foi obtido através da Equação 2.

$$Y = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} \quad (2)$$

em que  $X_t$  é o teor de umidade do produto ao longo do tempo, ( $g_{H_2O}/g$  sólido seco),  $X_0$  o teor de umidade inicial do produto ( $g_{H_2O}/g$  sólido seco) e  $X_e$  o teor de umidade de equilíbrio do produto ( $g_{H_2O}/g$  sólido seco).

### 2.3 Modelagem matemática

Os dados experimentais foram ajustados de acordo com os modelos descritos pela 2ª Lei de Fick (Equação 3), Page (Equação 4) e Midilli (Equação 5) para a cinética de secagem de alimentos.

$$Y = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{8}{\pi^2} e^{-\text{Def} \left(\frac{\pi}{2L}\right)^2 t} \quad (3)$$

$$Y = e^{-kt^n} \quad (4)$$

$$Y = ae^{-kt^n} + bt \quad (5)$$

em que t se refere ao tempo de secagem (min), k o coeficiente de secagem ( $\text{min}^{-1}$ ), a e b constantes dos modelos (adimensional), L a espessura (mm), e Def o coeficiente de difusão efetivo ( $\text{cm}^2.\text{min}^{-1}$ ).

Como critério de seleção, para o modelo que melhor descreve o processo de secagem do cará utilizou-se, além do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o erro quadrático médio (MSE) (Equação 6) e o erro percentual médio absoluto (MAPE) (Equação 7).

$$\text{MSE} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y_t - F_t)^2 \quad (6)$$

$$\text{MAPE} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{Y_t - F_t}{Y_t} \right| \quad (7)$$

em que  $y_t$  são valores preditos pelo modelo matemático,  $F_t$  os valores obtidos experimentalmente e  $n$  o número de observações ao longo do experimento.

Reis et al. (2011) expões que MSE é uma medida estatística e define o modelo de previsão mais preciso, quanto mais próximo de zero, maior é a precisão do modelo. Entretanto, MAPE é uma medida de erro relativa na qual é muito utilizada para avaliar a previsão de modelos matemáticos sendo que, para ser preditivo, os valores devem ser inferiores a 10%.

A partir da 2ª Lei de Fick (Equação 4) e com aproximação para placa plana de Crank (1975) se obteve a difusividade efetiva ( $D_{ef}$ ), utilizando valores constantes para espessura, temperatura, umidade inicial e de equilíbrio. Desconsiderando-se a contração volumétrica da amostra e considerando material homogêneo e placa plana, pois a secagem ocorreu com fluxo de ar paralelo a superfície do corte longitudinal do tubérculo.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos dados experimentais, foi determinado o diâmetro médio e espessura das fatias de cará, sendo 6,25 cm e 0,35 mm, respectivamente. A relação de umidade livre por tempo originou a curva de secagem do cará, sendo ilustrada na Figura 1.

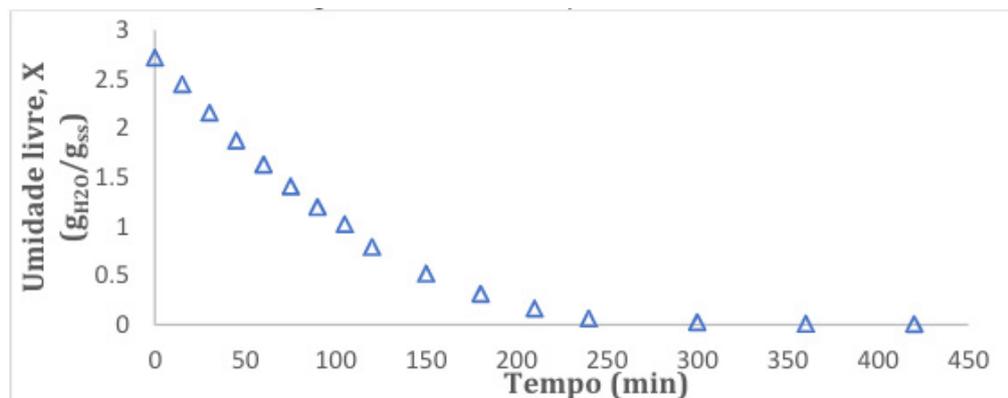


Figura 1. Curvas de secagem do cará a temperatura de 70 °C.

Percebe-se que a umidade livre das fatias de cará foi diminuindo ao longo do tempo e que, após 300 minutos, o alimento começou a se estabilizar, ou seja, a quantidade de água disponível no alimento foi reduzida, o que explica a baixa variação

do peso da amostra. A dificuldade do transporte da água até a superfície se deve pelo contato da amostra com a fonte de calor, levando a formação de uma casca seca no exterior das fatias, dificultando a saída da água.

Pacheco (2002) afirma que o momento em que a água do interior do alimento é dificilmente carregada a superfície é chamada de umidade crítica, onde, as amostras precisam de um maior intervalo de tempo para reduzir a quantidade de água do seu interior até manter pesos constantes. No experimento, o cará obteve umidade inicial de  $2,72 \text{ (g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{g}_{\text{ss}})$  e umidade de equilíbrio ( $X_e$ ) de  $1,07 \times 10^{-2} \text{ (g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{g}_{\text{ss}})$ , sendo necessárias aproximadamente 6 horas para o peso das fatias se tornassem constante.

A Figura 2 representa a curva de taxa de secagem, demonstrando que no início houve uma grande retirada no conteúdo de umidade da amostra em um curto período de tempo, na qual Vilella e Artur (2008) expõe que ao fatiar alimentos ocorre a formação de uma película de água em sua camada externa, facilitando a retirada da água. Nestes gráficos, geralmente a curva de taxa de secagem pode ser dividida em período de acomodação inicial da amostra; período de taxa constante de secagem e período de taxa decrescente de secagem (Park; Vohnikova; Brod, 2002).

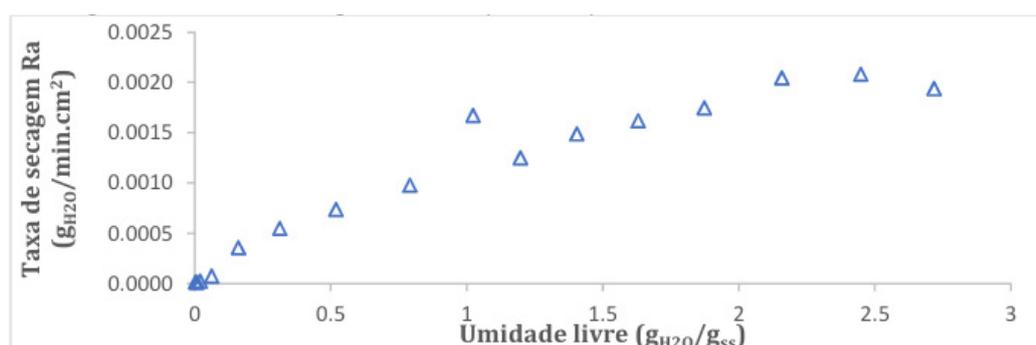


Figura 2. Taxa de secagem do cará para temperatura de 70°C.

É demonstrado na Figura 2 que a cinética de secagem do cará não apresentara o período de taxa constante, ou seja, na secagem do cará a difusão é o mecanismo físico dominante que rege o movimento da umidade na amostra. Menezes et al. (2013) ao realizar a secagem do bagaço de maracujá amarelo, obteve curva semelhantes ao presente trabalho, não apresentando um período de taxa constante durante a desidratação.

O comportamento dos dados experimentais frente aos modelos matemáticos baseados da 2ª Lei de Fick, Page e Midilli, pode ser observado na Figura 3, na qual, as curvas em relação aos dados demonstram o melhor perfil de representatividade da desidratação da fatia de cará em relação ao tempo de secagem, o qual foi desenvolvido o experimento.

Além disso, a curva obtida em cada modelo ajustado resulta em coeficientes, constantes e parâmetros estatísticos nos quais, demonstram e determinam matematicamente a melhor representatividade da modelagem frente aos dados

experimentais da desidratação do cará.

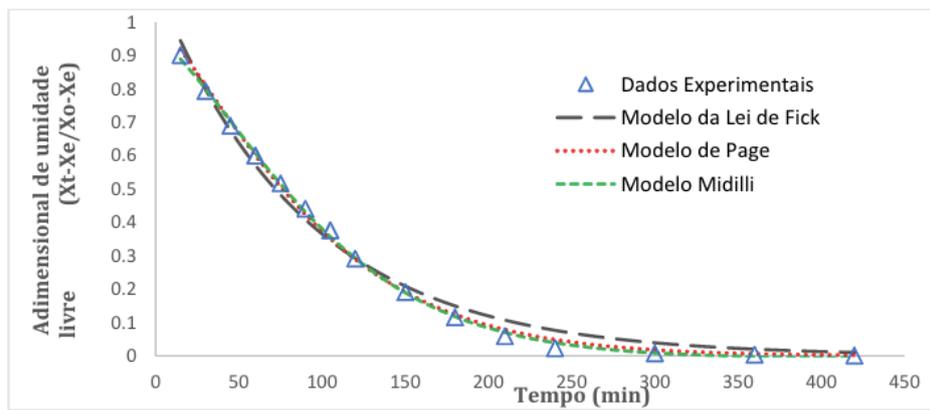


Figura 3. Curva da cinética de secagem do cará na temperatura de 70°C com ajuste nos três modelos matemáticos.

A Tabela 1, mostra os valores dos parâmetros dos modelos ajustados aos dados experimentais neste trabalho, bem como os critérios de avaliação dos modelos aplicados.

		Coeficientes	MAPE (%)	MSE (decimal)	R <sup>2</sup> (decimal)	-Def (cm <sup>2</sup> .min <sup>-1</sup> )
Fick	a	1,11651	57,6058	9,8145x10 <sup>-4</sup>	0,9887	9,12x10 <sup>-5</sup>
	k	-1,1100x10 <sup>-2</sup>				
Page	k	2,6700x10 <sup>-3</sup>	22,3464	2,1446x10 <sup>-4</sup>	0,9976	
	n	1,28319				
Midilli	a	0,9485	8,5983	9,1252x10 <sup>-5</sup>	0,9987	
	k	1,4700x10 <sup>-3</sup>				
	n	1,39490				
	b	-1,8814x10 <sup>-5</sup>				

Tabela 1. Parâmetros e critérios de avaliação obtidos a partir do ajuste dos modelos aos dados experimentais de secagem do cará na temperatura de 70 °C.

k: coeficiente de secagem (min<sup>-1</sup>); a, b, n: coeficientes utilizados nos modelos; MAPE: erro percentual médio absoluto (%); MSE: erro quadrático médio; R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação.

Para a determinação do modelo matemático que melhor representasse o processo de secagem do cará, foi analisado, primeiramente, o coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), onde, as curvas nos três modelos analisados, obtiveram valores superiores a 0,98 sendo que, o modelo de Midilli, apresentou o maior valor e assim, melhor ajuste. Porém, apenas o R<sup>2</sup> não determina um bom critério de avaliação e, por isso, determinou-se MSE e MAPE para cada modelo, como foi demonstrado na Tabela 1.

O modelo que melhor representa a cinética de secagem é o proposto por Midilli, pois avaliando o critério de MAPE, o percentual obtido, é inferior aos 10%, ou seja, o modelo pode ser considerado preditivo. Na avaliação do MSE, embora todos os modelos avaliados obtiveram valores reduzidos, o modelo de Midilli representa o menor valor encontrado (9,1252 x10<sup>-5</sup>) em relação aos demais, sendo considerado o

mais preciso.

Em secagem de rizomas da macambira, Costa et al. (2017) determinou que dentre os cinco modelos utilizados, o de Midilli foi o que melhor ajustou já que apresentou os maiores coeficientes de determinação e menores MSE. Leite et al. (2015) também determinou que o modelo de Midilli apresentou o melhor coeficiente de determinação e menor MSE, sendo ideal para representar a cinética de secagem de fatias de banana da terra.

Utilizando o coeficiente de secagem ( $k$ ) obtido pela 2ª Lei de Fick, foi determinado coeficiente de difusividade efetiva ( $Def$ ), apresentando valor de  $5,5109 \times 10^{-4} \text{ cm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$  para a secagem do cará. Em secagem de duas espécies de inhame-da-costa, Montes et al. (2008), encontrou um  $Def$  que variou de  $4,63 \times 10^{-6}$  a  $4,91 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$ , ou seja, inferior ao encontrado na secagem o cará. Já, Moraes (2016) determinou um coeficiente difusivo de  $3,792 \times 10^{-4} \text{ cm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$  em secagens de batata-doce, sendo ligeiramente próximo ao valor obtido no presente experimento.

Sabe-se que a variação do  $Def$  pode estar relacionada com a temperatura de secagem, velocidade do ar de circulação, estrutura morfológica do alimento e, também, a espessura das amostras a serem secas. Portanto, o coeficiente de difusão efetiva encontrado foi superior aos mostrados pela literatura em matérias primas semelhantes, o que resulta, em uma secagem adequada e viável para o cará.

## 4 | CONCLUSÕES

Foi constatado que as curvas do adimensional de umidade e da taxa de secagem, obtidas no experimento, estão próximas aos das matérias-primas vegetais e alimentícias descritas na literatura. A avaliação dos modelos matemáticos utilizando MAPE e MSE mostraram que o modelo descrito por Midilli melhor se ajustou aos dados do experimento por apresentar menores erros, podendo ser considerado um modelo preditivo e preciso na condição de secagem proposta. O coeficiente de difusividade efetiva encontrado apresenta ser superior aos descrito na literatura e mesmo desconsiderando a redução de volume através da contração da matéria, a forma simplificada mostra-se valores satisfatórios para o processo de secagem do cará.

## REFERÊNCIAS

CELESTINO, S. M. C. **Princípios de Secagem de Alimentos**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, n. 2176–5081, p. 50, 2010.

COSTA, J. D. **Cinética de secagem da macambira em forno de micro-ondas**. Congresso nacional de pesquisa e ensino em ciências. 2017.

CRANCK, J. **The mathematics of diffusion**. 2. ed. Oxford: Clarendon Press, 1975.

FEIJÓ, J. C.; Cruz, F. G. G.; Melo, R. D.; Rufino, J. P. F.; Damasceno, J. L.; Costa, A. P. G. C.; Negreiros, T. D. J. N.). **Farinha de cará (*Dioscorea trifida* L.) sobre o desempenho, qualidade do ovo e bioquímica sérica de poedeiras comerciais leves**. Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal, v. 17, n. 3, p. 413-423, 2016.

FERREIRA, A. B. **Sistemas de cultivo do cará *Dioscorea* spp. por pequenos agricultores da baixada cuiabana – MT**. 94 f. 2011. Dissertação (Mestrado) - Unesp, Botucatu-SP, 2011.

FOOD INGREDIENTS BRASIL. **Dossiê Alimentos Desidratados**. Food Ingredients Brasil, 2013.

GONELI, A. L. D.; VIEIRA, M. C.; VILHASANTI, H. D. C. B.; GONÇALVES, A. A. **Modelagem matemática e difusividade efetiva de folhas de aroeira durante a secagem**. Agropecuária Tropical, v. 44, n. 1, p. 56–64, 2014.

LEITE, A. L. M. P.; SILVA, F. S.; PORTO, A. G.; PIASSON, D.; Santos, P. **Contração volumétrica e cinética de secagem de fatias de banana variedade Terra**. Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 45, n. 2, p. 155–162, 2015.

MARTINS, C.; FARIAS, R. **Produção de Alimentos X Desperdício: Tipos, Causas E Como Reduzir Perdas Na Produção Agrícola**. Revista da FZVA, v. 9, p. 20–32, 2002.

MENEZES, M. L.; KUNZ, C. C.; PERINE, P.; PEREIRA, N. C.; ANDREO, O. A.; BARROS, S. T. D. **Analysis of convective drying kinetics of yellow passion fruit bagasse**. Acta Scientiarum. Technology, v. 35, n. 2, p. 291-298, 2013

MONTES, E. J. M.; GALLO, R. T.; PIZARRO, R. D. A.; SIERRA, O. A. P.; HERAZO, I. I. M. **Modelado de la cinética de secado de ñame (*Dioscorea rotundata*) en capa delgada**. Revista Ingeniería e Investigación, v. 28, n. 2, p. 45–52, 2008.

MORAIS, S. G. G. **Estudo da cinética de secagem da batata-doce (*Ipomea batatas* L.) e caracterização da farinha**. 45f. 2016. Dissertação (Graduação) – UFPB, João Pessoa - PA, 2016.

PACHECO, C.R.F. **Apostila de conceitos Básicos de Secagem (cap. 1)**. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

PARK, J. K.; VOHNIKOVA, Z.; BROD, F. P. R. **Evaluation of drying parameters and desorption isotherms of garden mint leaves (*Mentha crispata* L.)**. Journal of Food Engineering, v. 51, n. 3, p. 193–199, 2002.

RAMOS, A. D. S.; CASTRO, A. P. D.; MEDEIRO, C. M.; FRAXE, T. D. J. P.; MELO, S. R. D. D. **Avaliação da brotação para obtenção de mudas de diferentes partes do tubérculo de cará roxo (*Dioscorea trifida* L.)**. Revista Brasileira de Agroecologia, v. 9 n. 1, 2014.

REIS, R. C.; BARBOSA, L. B.; LIMA, M. L.; REIS, J. S.; DEVILLA, I. A.; ASCHERI, D. P. R. **Modelagem matemática da secagem da pimenta Cumari do Pará**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 15, n. 4, p. 347–353, 2011.

SILVA, E. R., BARROS, D. R., KINUPP, V. F., ALFAIA, S. S., AYRES, M. I., COIMBRA, A. B. **Isoporização em cará-de-espinho (*Dioscorea altissima* Lam.)**. Cadernos de Agroecologia, v. 10, n. 3, 2016

TEIXEIRA, A. P. **O cará-roxo (*Dioscorea trifida*) como ingrediente funcional na indústria de panificação**. 25 f. 2011. Dissertação de mestrado - UFA, Manaus-AM, 2011.

VILELA, C. A. A.; ARTUR, P. O. **Secagem do açafraão (*Curcuma longa* L.) em diferentes cortes geométricos**. Food Science and Technology, v. 28, n. 29, p. 387–394, 2008.

## TRATAMENTO DE CASTANHA DE CAJU POR RADIAÇÃO UV-C DE LED PARA REDUÇÃO DE BOLORES

### **Leticia Cabrera Parra Bortoluzzi**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão – Paraná

### **Iasmim Pereira de Moraes**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão - Paraná

### **Ana Rita Zulim Leite**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão - Paraná

### **Brenda Dall Molin**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão - Paraná

### **Sidnei Macedo Pereira Filho**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão - Paraná

### **Márcia Regina Ferreira Geraldo Perdoncini**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão - Paraná

### **Fabio Henrique Polisel Scopol**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão - Paraná

### **Roberto Ribeiro Neli**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão - Paraná

### **Roberta de Souza Leone**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão - Paraná

### **Heron Oliveira dos Santos Lima**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão – Paraná

**RESUMO:** A castanha de caju é um produto de grande importância no agronegócio mundial, porém, 10% das castanhas que aportam nas indústrias de processamento não possuem amêndoas por terem sido destruídas por fungos. Devido à crescente demanda por produtos que apresentem suas qualidades sensoriais e nutricionais preservadas, a indústria de alimentos é desafiada a adaptar seus processos. Nesse campo, a tecnologia alternativa da radiação por ultravioleta se apresenta como um método de fácil aplicação e boa eficiência. Dessa maneira, objetivo deste trabalho é verificar a capacidade da radiação ultravioleta sobre a inibição de fungos em castanha de caju. As amostras foram submetidas a radiação utilizando um protótipo equipado com luz UV-C de Led para tratamento controlado com base no comprimento de onda e tempo. Os tratamentos apresentaram aumento na inibição conforme o aumento do comprimento de onda e do tempo de exposição. Como houve redução na porcentagem fúngica, o método mostrou ser promissor para o tratamento desse alimento.

**PALAVRAS-CHAVE:** radiação ultra-violeta, lâmpadas de led, fungos.

TREATMENT OF CASHEW NUT BY UV-C  
RADIATION OF LED FOR REDUCTION OF

**ABSTRACT:** Cashew nut is a product of great relevance in the world agribusiness. However, 10% of the cashew nuts supplied to the industry processes did not present seeds, caused by the fungi action. Due to the increasing demand for products that preserve sensory and nutritional qualities, the food industry is challenged to adapt its processes. In this way, the ultraviolet radiation technology presents as an alternative of easy application and good efficiency. Thus, the aim of this study was to verify the ability of the ultraviolet radiation on the inhibition of cashew nut fungi. The samples were subjected to radiation using an UV- C Led prototype for treatment based on the wavelength and time. The results presented an increase in the inhibition as the wavelength and exposure time increased. As a result, a reduction in the fungus percentage was achieved, allowing to conclude that UV Led radiation technology showed to be promising for this food treatment.

**KEYWORDS:** ultraviolet radiation, Led lamps, fungi.

## 1 | INTRODUÇÃO

O produto derivado do caju com maior importância no agronegócio mundial é a amêndoa, que gera cerca de dois bilhões de dólares anuais em nível de varejo, sendo a terceira noz mais comercializada no mercado internacional (PAIVA; SILVA NETO; PAULA PESSOA, 2000).

Características físico-químicas da castanha de caju processada como alto teor de gordura e baixo teor de umidade, fazem com que esse produto tenha um possível ganho de umidade e com isso perda de textura, degradação microbiológica e oxidação (LIMA; BORGES, 2004).

Por ser um alimento com safra curta, é necessário que as indústrias armazenem a castanha de caju para poder processar o ano todo. Essa estocagem deve ser feita com a castanha seca com umidade de 7% a 9% para que não haja problemas com deterioração, principalmente com fungos (PAIVA; GARRUTTI; SILVA NETO, 2000).

Devido às condições de estocagem e as características da semente, 10% das castanhas que chegam nas indústrias de processamento não possuem amêndoas devido à destruição por fungos (PINHEIRO, 2004). Essa deterioração foi confirmada em estudos e indicam a presença de diversos fungos, dentre os mais frequentes são os dos gêneros *Aspergillus*, *Penicillium*, *Nigrospora*, *Curvularia* e *Choanephara* (PAIVA; GARRUTTI; SILVA NETO, 2000).

Mesmo as amêndoas de cajueiro sendo aparentemente as menos suscetíveis à formação de micotoxinas quando comparada a outros produtos agrícolas, os fungos *Aspergillus* e *Penicillium* são potencialmente produtores de micotoxinas e são encontrados em maior percentual nas castanhas, com mais destaque ao *Aspergillus flavus* (FREIRE; BARGUIL, 2001).

Devido à crescente demanda por produtos que apresentem suas qualidades

sensoriais e nutricionais preservadas, a indústria de alimentos é desafiada a adaptar seus processos, procurando e estudando tecnologias alternativas que sejam capazes de alcançar as exigências de mercado e ainda promovem redução do desperdício e dos custos energéticos. Neste contexto surge os métodos alternativos de processamento de alimentos, como as tecnologias não-térmicas. Entre elas, o processamento de alta pressão, ultrassom, ozônio, campo elétrico pulsado, radiação ultravioleta (UV), etc., não só minimizam o dano térmico aos alimentos, mas também são capazes de preservar ou aumentar o teor de nutrientes, juntamente com a maior vida de prateleira (POLISELI-SCOPEL et al., 2012; EVANGELISTA, 2015).

Nesse campo, a radiação por ultravioleta se apresenta como uma tecnologia de fácil aplicação, com letalidade para a maioria dos micro-organismos no intervalo de comprimento de onda de 200 a 280 nm denominada luz UV-C, onde há potencial germicida (LIM, HARRISON, 2016), não gera resíduos químicos (GUERRERO-BELTRÁN; BARBOSA-CÁNOVAS, 2004) e é um processo considerado a frio por não utilizar altas temperaturas (RIVERA-PASTRANA et al., 2014).

A irradiação UV-C pode aumentar a resistência a deterioração devido a síntese de compostos que trabalham com os mecanismos naturais de defesa das plantas expostas estresse, ou seja, o resultado do estresse causado pela baixa dose de UV-C pode gerar um estímulo para produção de compostos fungicidas, como fitoalexinas, que acabam controlando doenças. Os processos de amadurecimento também são retardados reduzindo os distúrbios fisiológicos como danos mecânicos, perda por frio e perda de firmeza (DE CAPDEVILLE et al., 2002; CISNEROS-ZEVALLOS, 2003).

Estas características tornam essa técnica uma das mais promissoras tecnologias quando se deseja manter as características físico-químicas e sensoriais do produto sem modificações, impossibilitando assim o uso de tratamento térmico, além de evitar a necessidade do uso de fungicidas pós colheita tornando um produto mais seguro (WILSON et al., 1994; EVANGELISTA, 2015).

A irradiação UV-C está sendo utilizado como tratamento alternativo para conservação física e microbiológica de alimentos como maçã (BARTNICKI, 2011), nectarina (GONZÁLEZ-AGUILAR, 2005), repolho (RUIZ LÓPEZ; QÜESTA; RODRIGUEZ, 2010), pêssego (COUTINHO FICK et al., 2003), pães, amido de mandioca (MONDARDO, 2015) e águas (SOETHE, 2013).

Com isso, objetivo deste trabalho é verificar a capacidade da radiação ultravioleta sobre a inibição de fungos em castanha de caju, utilizando um protótipo equipado com luz UV-C de Led para tratamento controlado com base no comprimento de onda e tempo.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Obtenção das castanhas de caju

Utilizou-se castanhas de caju comercializadas a granel na região central de Campo Mourão, PR.

### 2.2 Meio de cultivo e radiação UV-C

O meio para inoculação das amostras foi o BDA (Batata Dextrose Ágar), foram inoculadas 5 castanhas de caju em cada meio. Para o tratamento Led UV-C, utilizou-se um protótipo desenvolvido na UTFPR para tratar alimentos sólidos, dotado de quatro Leds no comprimento de onda de 265 nm e quatro Leds de 280 nm, ambos com 200 mW de potência. A amostra foi posicionada a 8,5 cm dos Leds superior e inferior e a 5 cm dos Leds laterais. O tratamento foi conduzido pelo tempo por 10 e 20 minutos.

### 2.3 Tratamento

As sementes foram separadas em grupo controle e tratamentos. O grupo controle não sofreu radiação, sendo inoculadas diretamente ao meio de cultura. Para os tratamentos as amostras foram divididas em quatro grupos: Tratamento 1, tratado por 10 minutos em 280nm; Tratamento 2, tratado por 20 minutos em 280nm; Tratamento 3, tratado por 10 minutos em 265nm; Tratamento 4, tratado por 20 minutos em 265nm. Todos os tratamentos foram feitos em triplicata, totalizando 15 placas e 75 castanhas, conduzidos à temperatura ambiente e realizados de forma a garantir que toda a superfície da amostra fosse irradiada. Em seguida, todas as placas do controle e dos tratamentos foram incubadas por 7 dias à 25°C. Após esse período as castanhas com deterioração por bolores foram contadas e estabelecida a porcentagem de contaminação por grupo. Os ensaios foram realizados em triplicata.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após os sete dias de incubação foi realizada a contagem e determinada a porcentagem de contaminação por bolores das amostras dos grupos controle e tratamentos, bem como a taxa de inibição de cada ensaio. Os resultados expressos na Tabela 1, mostram que todas as castanhas do grupo controle apresentaram crescimento de bolores após o período de incubação e os grupos de tratamento tiveram redução porcentagem de contaminação, com uma visível inibição do crescimento fúngico pelo tratamento UV-C empregado.

Amostras *	Contaminação fúngica (%)	Inibição fúngica (%)
C	100	0

T1	33	67
T2	17	83
T3	50	50
T4	42	58

Tabela 1 - Resultados dos tratamentos UV-C Led em amostras de castanha de caju.

\*Amostras - C: controle (sem tratamento UV); T1: tratamento 1 (tratado por 10 min a 280nm); T2: tratamento 2 (tratado por 20 min a 280nm); T3: tratamento 3 (tratado por 10 min a 265nm); T4: tratamento 4 (tratado por 20 min a 265nm).

Na Figura 1 é possível visualizar a capacidade de inibição do desenvolvimento de bolores das amostras tratadas comparadas ao controle. Pode-se observar que todos os tratamentos mostraram redução, e que a inibição foi dependente do comprimento de onda e do tempo de exposição da amostra à radiação. Desta forma, o tratamento 2 com 20 minutos as 280 nm, apresentou-se como o mais eficiente.

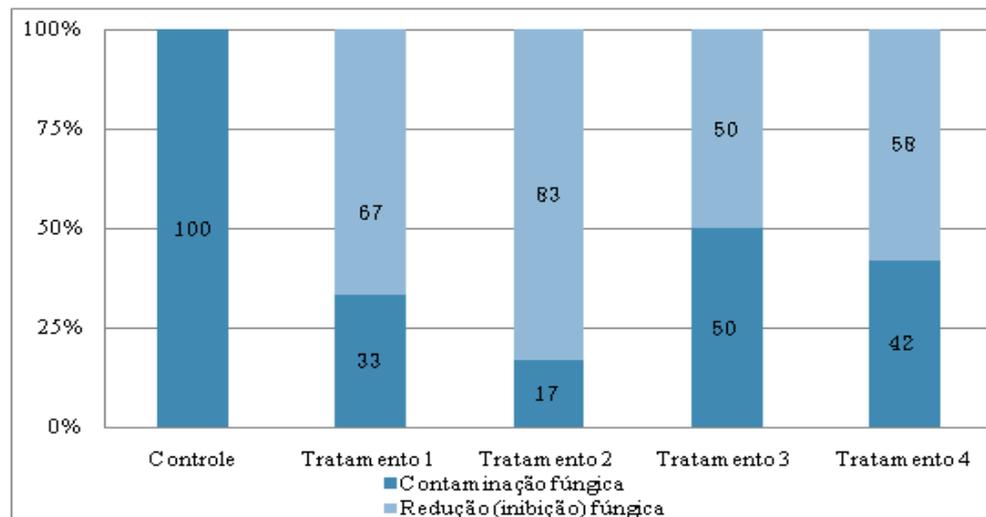


Figura 1. Comparação da contaminação fúngica e porcentagem de inibição dos tratamentos em relação ao controle.

A radiação UV-C em comprimento de onda de 200-280nm age diretamente no DNA dos microrganismos, alterando seu material genético e inibindo a replicação. Pode ainda causar danos estruturais tais como desnaturação de proteínas e desorganização da parede celular (EVANGELISTA, 2015; SOUZA, 2012). Além do mais, torna o alimento resistente a patógenos com inibição mais eficiente que no tratamento hidrotérmico, mesmo este ainda sendo mais eficiente para o tratamento micelial dos mesmos patógenos (CHARLES; ARUL, 2007; NASCIMENTO, 2014).

Em relação à morfologia das colônias, as placas do grupo controle apresentaram uma maior diversidade, enquanto que nos tratamentos as colônias foram morfológicamente mais semelhantes. Isso indica que os tratamentos por luz UV-C inativaram algumas espécies de fungos pela redução da diversidade enquanto outros se mostraram mais resistentes.

Os resultados encontrados no presente estudo poderiam estar associados ao posicionamento da amostra no protótipo, principalmente no que diz respeito à distância da amostra em relação a fonte luminosa. Esta distância está diretamente associada à irradiância, ou seja, energia irradiada por unidade de área. Quanto mais próximo a amostra estiver da fonte luminosa, mais irradiância recebe. Tal fato tem efeito direto sobre a inativação de microrganismos e enzimas. Neste caso, a distância que melhor produziria esta irradiância seria aquela com distâncias menores que 8,5 cm da fonte luminosa, como observado na figura 2 para o Led 265 nm.

Como a castanha de caju apresenta-se numa geometria pequena, as amostras tratadas ficaram numa distância de aproximadamente 8,5 cm da fonte luminosa superior e inferior, e aproximadamente 5 cm dos Leds localizados nas paredes laterais. Tais distâncias permitiu que as amostras recebessem maior irradiância pelas paredes laterais que pelas paredes superiores e inferiores (Figura 2). Dessa forma a irradiância recebida pelas amostras podem não ter sido adequada para alcançar uma maior inativação fúngica.

O tratamento ultravioleta age principalmente na superfície da amostra pois possui uma baixo potencial de penetração nos tecidos (LAROUSSE; LEIPOLD, 2004; SOUZA, 2012), fato este que impossibilita a inibição de microrganismos que se encontram sob os tecidos, além de ser necessário garantir que toda a superfície da amostra esteja sendo irradiada.

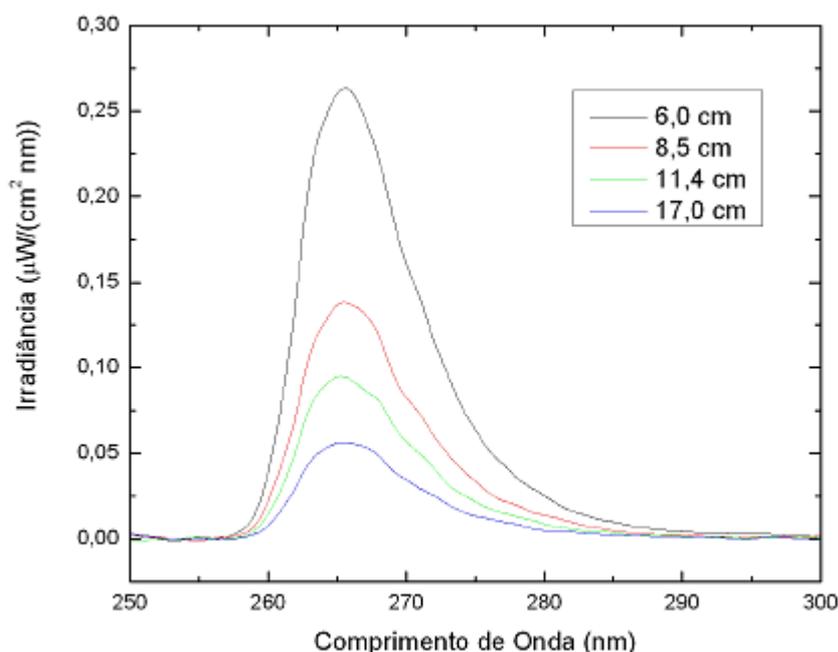


Figura 2: Espectro de irradiância para o Led 265 nm em diferentes distâncias da fonte luminosa.

No caso de alimentos como a castanha do caju, que são armazenadas durante um longo período devido a curta safra e ingeridas geralmente sem higienização prévia, deve-se tomar cuidado em relação a contaminação fúngica principalmente pela

capacidade de alguns gêneros produzirem esporos e micotoxinas.

Begum, Hocking e Miskelly (2009), demonstraram que o tratamento com luz UV-C foi eficaz no controle de esporos de fungos de *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger* e *Penicillium corylophilum*, gêneros que podem contaminar castanhas de caju, e outros fungos do gênero em alimentos como maçã (SANHUEZA, 2001), sementes de ateira e gravioleira (CARDOSO, 2000) e castanha-do-brasil (KONDA, et al., 2017).

Para melhores resultados, métodos combinados mostraram-se como uma alternativa. Formica-Oliveira et al. (2017) combinaram a luz UV-B (1.5 kJ m<sup>-2</sup>) e UV-C (4.0 kJ m<sup>-2</sup>) no tratamento de cenouras, resultando no aumento dos teores de compostos fenólicos e redução da carga microbiana, enquanto Souza (2012) combinou a radiação UV-C (2.64 a 16.00 kJ.m<sup>-2</sup>) com atmosfera modificada para tratamento de figos, mostrando vantagens na redução da carga microbiana e manutenção da qualidade mesmo no armazenamento sem refrigeração, confirmando que métodos combinados apresentam vantagens devido sua ação sinérgica e complementar.

## 4 | CONCLUSÃO

Os resultados mostraram que as amostras de castanha após o tratamento com luz UV-C de Led tiveram redução na porcentagem fúngica, mostrando ser um método promissor para o tratamento desse alimento.

Quando comparado às variáveis de comprimento de onda e tempo, nota-se que ambos possuem influência, sendo o comprimento de onda de 280 nanômetros por 20 minutos o mais eficaz.

O tratamento com UV-C não conseguiu erradicar os fungos das amostras, e mesmo com um resultado satisfatório, melhores resultados poderiam ser alcançados a partir da combinação de diferentes comprimentos de onda, redução da distância entre a amostra e as fontes luminosas e ainda redução de tempo de tratamento.

## REFERÊNCIAS

BARTNICKI, Vinicius Adão et al. Água aquecida e radiação UV-C no controle pós-colheita de **Cryptosporiopsis perennans em maçãs**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 45, n. 2, p. 124-131, 2011.

BEGUM, M.; HOCKING, A. D.; MISKELLY, D. **Inactivation of food spoilage fungi by ultra-violeta (UVC) irradiation**. International Journal of Food Microbiology, v. 129, n. 1, p. 74–77, 2009.

CARDOSO, José Emilson et al. **Ocorrência e supressão físico-química de fungos associados aos frutos e as sementes de ateira e gravioleira**. Embrapa Agroindústria Tropical, 2000.

CHARLES, M. T.; ARUL, J. **UV treatment of fresh fruits and vegetables for improved quality: a status report**. Stewart Postharvest Review, v. 3, n. 3, p. 3-6, 2007.

CISNEROS-ZEVALLOS, L. **The use of controlled postharvest abiotic stresses as a tool for enhancing the nutraceutical content and adding-value of fresh fruits and vegetables**. Journal of

food science, v. 68, n. 5, p. 1560-1565, 2003.

COUTINHO FICK, Enilton et al. **Aplicação pós-colheita de luz ultravioleta (UV-C) em pêssegos cultivar Jade, armazenados em condição ambiente.** Ciência Rural, v. 33, n. 4, 2003.

DE CAPDEVILLE, Guy et al. **Alternative disease control agents induce resistance to blue mold in harvested 'Red Delicious' apple fruit.** Phytopathology, v. 92, n. 8, p. 900-908, 2002.

EVANGELISTA, Z. R. **Radiação UV-C e cloreto de cálcio na qualidade pós-colheita da jabuticaba 'sabará'.** 2015. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Goiás, Anápolis-GO, 2015.

FORMICA-OLIVEIRA, A. C. et al. **Effects of UV-B and UV-C combination on phenolic compounds biosynthesis in fresh-cut carrots.** Postharvest Biology and Technology, v. 127, p. 99–104, 2017.

FREIRE, F.; BARGUIL, B. M. **Fungos que deterioram amêndoas de cajueiro no Brasil.** Comunicado Técnico 64. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Agroindústria Tropical Ministério da Agricultura, Pecuária e abastecimento. Embrapa. Fortaleza, CE, 2001.

GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A. et al. **Mango, durazno y nectarina utilizando irradiación ultravioleta (UV-C).** Ciencia en la frontera, p. 49., 2005.

GUERRERO-BELTRÁN, J. A.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. **Advantages and limitations on processing foods by UV light.** Food science and technology international, v. 10, n. 3, p. 137-147, 2004.

KONDA, E. T. et al. **Efeito da irradiação ultravioleta C no controle de Aspergillus flavus link da castanha-do-brasil.** In: Embrapa Meio Ambiente-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 11., 2017, Campinas. Anais... Campinas: Instituto Agrônomo, 2017. Nº 17416.

LAROUCSI, M.; LEIPOLD, F. **Evaluation of the roles of reactive species, heat, and UV radiation in the inactivation of bacterial cells by air plasmas at atmospheric pressure.** International Journal of Mass Spectrometry, v. 233, n. 1-3, p. 81–86, 2004.

LIM, W; HARRISON, M.A. **Effectiveness of UV light as a means to reduce Salmonella contamination on tomatoes and food contact surfaces.** Food Control, v. 66, p. 166-173, 2016.

LIMA, J. R.; BORGES, M. F. **Armazenamento de amêndoas de castanha de caju: influência da embalagem e da salga.** Revista Ciência Agronômica, v. 35, n.1, p. 104-109, 2004.

MONDARDO, Andrei Antonio. **Study of the effects of ultraviolet light to microbiological reduction of tapioca starch.** 2015. 83 f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) - Universidade Estadual do Oeste do Parana, Cascavel, 2015.

NASCIMENTO, Fernanda Varela et al. **Hidrotermia e radiação UV-C no controle de patógenos de manga e melão.** Summa phytopathologica, v. 40, n. 4, p. 313-317, 2014.

PAIVA, F.F. de A.; GARRUTI, D. dos S.; SILVA NETO, R.M. da. **Aproveitamento Industrial do caju.** Fortaleza: Embrapa-CNPAT/SEBRAE/CE, 2000. 88 p.

PAIVA, F.F. de A.; SILVA NETO, R.M. da; PAULA PESSOA, P.F.A. de. **Minifábrica de processamento de castanha de caju.** Circular técnica, 07. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2000. 22 p.

POLISELI-SCOPEL, F.H.; HERNANDEZ-HERRERA, M.; GUAMIS, B., FERRAGUT, V. **Comparison of ultra high-pressure homogenization and conventional thermal treatments on the microbiological, physical and chemical quality of soymilk.** LWT - Food Science and Technology, v.

46, n. 1, p. 42-48, 2012.

RIVERA-PASTRANA, D. M. et al. **Effect of UV-C irradiation and low temperature storage on bioactive compounds, antioxidant enzymes and radical scavenging activity of papaya fruit.** Journal of Food Science Technology, v. 51, n. 12, p. 3821–3829, 2014.

RUIZ LÓPEZ, Gustavo A.; QÜESTA, Ana G.; RODRIGUEZ, Silvia del C. **Efecto de luz UV-C sobre las propiedades antioxidantes y calidad sensorial de repollo mínimamente procesado.** Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, v. 11, n. 1, 2010.

SANHUEZA, RM Valdebenito; MAIA, L. **Utilização da luz ultravioleta (UV-C) na proteção de maçãs fuji da podridão por *Penicillium expansum*.** Embrapa Uva e Vinho, 2001.

SOETHE, Gabriella Caroline et al. **Desinfecção de águas cinzas pelos métodos de cloração e radiação ultravioleta.** 2013. 70 f. Dissertação - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

SOUZA, Franciane Colares. **Utilização combinada de radiação UV-C e atmosfera modificada para conservação do figo após a colheita.** 2012. 111 p., Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, SP.

WILSON, C. L. et al. 2177701. **Potential of induced resistance to control postharvest diseases of fruits and vegetables.** Plant disease, v. 78, n. 9, p. 837-844, 1994.

## AVALIAÇÃO DA AÇÃO ANTIFÚNGICA DOS EXTRATOS BRUTOS DE MUTAMBA E CATUABA CONTRA O FUNGO *Botrytis cinerea*

### **Amanda Correia Gardenal**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Campo Mourão  
Campo Mourão, Paraná

### **Ana Rita Zulim Leite**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Campo Mourão

### **Iasmim Pereira de Moraes**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Campo Mourão  
Campo Mourão, Paraná

### **João Carlos Palazzo de Mello**

Universidade Estadual de Maringá (UEM)  
Maringá – Paraná

### **Daniela Cristina de Medeiros**

Universidade Estadual de Maringá (UEM)  
Maringá – Paraná

### **Danielly Chierrito de Oliveira Tolentino**

Universidade Estadual de Maringá (UEM)  
Maringá – Paraná

### **Mariane Roberta Ritter**

Universidade Estadual de Maringá (UEM)  
Maringá – Paraná

### **Naiara Cássia Gancedo**

Universidade Estadual de Maringá (UEM)  
Maringá – Paraná

### **Sharize Betoni Galende**

Universidade Estadual de Maringá (UEM)  
Maringá – Paraná

### **André Oliveira Fernandes da Silva**

Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Maringá – Paraná

### **Leila Larisa Medeiros Marques**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Campo Mourão  
Campo Mourão - Paraná

### **Márcia Regina Ferreira Geraldo Perdoncini**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Campo Mourão  
Campo Mourão - Paraná

**RESUMO:** O uso de extratos vegetais tem sido estudado como uma alternativa para o controle de microrganismos deteriorantes, respondendo à expectativa da população que tem buscado um modo de vida mais saudável, por meio do consumo de produtos sem agrotóxicos. O fungo *Botrytis cinerea* é um patógeno facultativo de vegetais, podendo afetar todos os estágios do desenvolvimento de diversos frutos. A mutamba e a catuaba são plantas encontradas no cerrado brasileiro e têm demonstrado princípios ativos em seus extratos, com variadas funções farmacológicas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a atividade antifúngica por meio da verificação da concentração inibitória mínima (CIM) e concentração fungicida mínima (CFM) dos extratos brutos de mutamba e catuaba contra o fungo *B. cinerea*. A CIM e CFM foram realizadas segundo a norma M38 A da *National Committee for Clinical Laboratory Standard*. Os

extratos brutos de mutamba e catuaba apresentaram inibição para *B. cinerea* tendo como CIM e CFM valores de 0,125 g.mL<sup>-1</sup> e 0,0312 g.mL<sup>-1</sup> para mutamba e catuaba, respectivamente. Desta forma, torna-se promissor o uso desses extratos para a inibição de *B. cinerea*.

**PALAVRAS-CHAVES:** Mutamba, Catuaba, *Botrytis cinerea*, atividade antifúngica

## EVALUATION OF THE ANTIFUNGAL ACTION OF THE CRUDE EXTRACTS OF MUTAMBA AND CATUABA AGAINST THE FUNGUS *Botrytis cinerea*

**ABSTRACT:** The use of plant extracts has been studied as an alternative for the control of deteriorating microorganisms, responding to the expectation of the population that has sought a healthier way of life, through the consumption of products without pesticides. *Botrytis cinerea* fungus is an optional plant pathogen that can affect all stages of the development of various fruits. The mutamba and catuaba are plants found in Brazilian cerrado and have demonstrated active principles in their extracts, with varied pharmacological functions. The objective of this work was to evaluate the antifungal activity by checking the minimum inhibitory concentration (MIC) and minimum fungicidal concentration (CFM) of the crude extracts of mutamba and catuaba against the fungus *B. cinerea*. CIM and CFM were performed according to the M38 A standard of the National Committee for Clinical Laboratory Standard. The crude extracts of mutamba and catuaba showed inhibition for *B. cinerea* having as MIC and CFM values of 0.125 g.mL<sup>-1</sup> and 0.0312 g.mL<sup>-1</sup> for mutamba and catuaba, respectively. Thus, the use of these extracts for the inhibition of *B. cinerea* is promising.

**KEYWORDS:** Mutamba, Catuaba, *Botrytis cinerea*, antifungal activity

## 1 | INTRODUÇÃO

A grande procura mundial por alimentos livres de agrotóxicos impulsiona várias pesquisas na busca de métodos optativos no controle de patógenos em plantas. Vários trabalhos apresentam o poder de plantas medicinais no controle de patógenos, tanto por sua ação fungistática direta, inibindo o crescimento micelial e a germinação de esporos, assim como pela sua capacidade de induzir a defesa das plantas com o acúmulo de fitoalexinas, sinalizando o comparecimento de moléculas com características eliciadoras (MAZARO et al., 2013).

O Brasil é considerado um dos países de maior biodiversidade do planeta por possuir cerca de 20% do número total de espécies de plantas. As plantas e os extratos vegetais são de grande interesse na utilização de suas substâncias ativas como padrão para composição de medicamentos e como fonte de matérias primas farmacêuticas, tanto para a obtenção de fármacos como para obtenção de adjuvantes e, ainda, na construção de medicamentos unicamente à base de extratos vegetais: os fitoterápicos (MARTINS, 2017).

O estudo da atividade biológica de compostos secundários nos extratos de plantas medicinais e aromáticas, de acordo com Stangarlin et al. (1999), cooperam para o controle de pragas e doenças da agricultura, mediante a sua ação antifúngica direta na inibição do crescimento micelial do patógeno ou impedindo germinação de seus esporos.

Pertencente à família Meliaceae, a espécie *Trichilia catigua* é vulgarmente conhecida como catuaba, catigua ou angelim-rosa. É encontrada desde o Rio Grande do Sul até Minas Gerais, ocorrendo preferencialmente nas matas ciliares e mesófilas do interior (VALMORBIDA et al., 2008). Esta mesma espécie para Lagos et al. (2006), possui inflorescências axilares amarelas, folhas compostas, normalmente imparipinadas, com 6-12 cm de comprimento. A população utiliza diferentes partes do vegetal -folha, casca, raiz, caule- na forma de infuso ou decocto, como purgativo, inseticida, anti-reumático e tônico para tratamento de fadiga, estresse, déficit de memória e impotência sexual.

A caracterização farmacognóstica das cascas de *T. catigua* mostrou a presença de flavonoides, antracênicos livres, taninos condensados e saponinas, bem como a de alcaloides, mucilagens, cumarinas e óleos essenciais, o que torna tão importante o estudo da mesma (VALMORBIDA et al., 2008).

A *Guazuma ulmifolia* Lam é uma espécie comum no cerrado brasileiro, mas de ocorrência desde a Amazônia até o Paraná, pertencente à família Malvaceae. Mundialmente conhecido como “guacimo” ou “mutamba”, a árvore possui de 5 a 10 m de altura com tronco de 30 a 50 cm de diâmetro, com casca fissurada no sentido vertical, de cor branca e acinzentada. A copa tem abundante ramagem com folhas alternas simples com pecíolo ou haste curta, de cor amarelada (MARTINS, 2017).

Para Cowan (1999), as espécies vegetais sintetizam metabólitos que podem apresentar atividade direta por meio dos extratos ou óleos essenciais, atuando em microrganismos como bactérias, nematoides, fungos, insetos e pragas, ou simplesmente ativando os seus mecanismos de defesa frente aos patógenos e agentes externos. Estudos realizados com as cascas e as folhas da *Guazuma ulmifolia*, detectaram a presença de ligninas, além de alcaloides, flavonoides, taninos, sesquiterpenos, triterpenos, diterpenos,  $\beta$ -sitosterol e glicosídeos cianogênicos, como metabólitos secundários, que segundo as análises fitoquímicas de extratos etanólicos e metanólicos, as folhas revelaram a presença de óleos voláteis e proantocianidinas nas cascas o que pode ser um grande fator para inibição de microrganismos (MAFALDA, 2017).

Análises fitoquímicas por Martins (2017), revelaram a presença de alcaloides e taninos na infusão da casca caulinar da mutamba. O mesmo notou a presença de alcaloides isoquinólicos, saponinas triterpênicos, taninos e amidos. Em ensaios in vitro, a *G. ulmifolia* apresentou majoritariamente efeito antimicrobiano, apontando que a presença de alguns compostos químicos como os flavonoides e os taninos, existentes na planta que são capazes de provocar a inibição de microrganismos.

O fungo *Botrytis cinerea* é um fungo filamento patógeno facultativo, sendo que vive saprofiticamente no solo podendo permanecer dormente por longos períodos na forma de escleródios. Em virtude de correntes de ar ou insetos é possível a disseminação deste fungo pelo transporte de conídios (SILVA, 2013).

Este patógeno, pode ser descrito como um fungo necrótico que se estabelece e se multiplica inicialmente em tecidos vegetais mortos, colonizando posteriormente os tecidos vivos adjacentes. Desta forma, o fungo pode adentrar nos tecidos através de ferimentos, provocados durante a colheita ou manejo (SILVA, 2013).

A espécie *Botrytis cinerea* é patogênica a uma grande variedade de hospedeiros, que compreende importantes hortaliças e plantas cultivadas por sua beleza, tanto em cultivos em estufas, quanto em campos. A doença pode ocorrer em quase todos os períodos de desenvolvimento da planta, sendo que o uso de fungicidas, na maior parte dos casos, constitui-se na única alternativa viável de controle. Assim, as populações de *B. cinerea* estão constantemente expostas à ação de fungicidas específicos, favorecendo a seleção de linhagens resistentes (GHINI, 1996).

As plantas infectadas pelo fungo tornam-se murchas e secas gradativamente, ocasionando falhas nos canteiros da produção. Enquanto nos frutos, ocorrem lesões arredondadas e ligeiramente deprimidas, de coloração castanha a marrom-escura e consistência firme, sendo que estas lesões podem se espalhar por todo o fruto (MONTEIRO, 2017).

Devido o morango apresentar características como altos teores de umidade, açúcares e de ácidos, como também ser um fruto delicado, perecível e ser predisposto a injúria mecânica, este é um substrato ideal para a proliferação de microrganismos deterioradores (HOLTZ, 2006). Doenças causadas por fitopatógenos como fungos, bactérias, fitoplasmas, vírus e nematóides, afetam de modo direto e indireto a cultura, podendo determinar o sucesso ou o fracasso do produtor de morango. Para o desenvolvimento da doença é necessário a presença de um patógeno capaz de infectar a planta de morango, um cultivo de morango disposto ao patógeno e condições ambientais que favoreçam a multiplicação e a disseminação do mesmo (UENO, 2004).

O desenvolvimento de fungos durante o armazenamento e transporte de morango é uma das causas para perdas pós-colheita, uma vez que causa perdas de importância econômica, não apenas na pré-colheita, mas também durante o transporte e armazenamento (CAMILI et al., 2007).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a atividade antimicrobiana por meio da verificação da concentração inibitória mínima (CIM) e concentração fungicida mínima (CFM) dos extratos brutos de mutamba e catuaba contra o fungo *Botrytis cinerea*.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Extratos

Para a produção dos extratos foram usadas cascas de *G. ulmifolia* coletadas em Ibiporã, Paraná, Brasil e cascas de *T. catigua*. Os extratos brutos de *T. catigua* e *G. ulmifolia* foram obtidos segundo metodologia descrita por Longhini et al. (2013) e Lopes et al. (2009), respectivamente.

### 2.2 Meios de Cultura

O meio RPMI-1640 foi utilizado para o teste da concentração inibitória mínima, pois considera-se satisfatório para ensaios de compostos antimicrobianos com fungos filamentosos, além de ser utilizado como meio padrão da norma de terapia antifúngica M38-A (NCCLS). O meio foi preparado pesando-se 10,4 g de meio RPMI-1640 em pó e 34,53 g de tampão MOPS (ácido 3-[N-morfolino] propanosulfônico).

O meio em pó foi dissolvido em 900 mL de água destilada. Foi adicionado MOPS (concentração final de 0,165 mol/L), agitando-se até dissolver. Durante a homogeneização o pH foi ajustado para 7,0 a 25 °C usando hidróxido de sódio 1 mol/L. Foi acrescentado água adicional para levar o meio a um volume final de 1 L. A esterilização ocorreu por filtração, na qual foi utilizada uma membrana (Sartorius Stedim) de 0,2 µm de diâmetro e o armazenamento a 4° C até o momento do uso.

O meio de cultura ágar DG-18 foi preparado adicionando-se a quantidade necessária do pó em água destilada, conforme as instruções do fabricante e dissolvido por aquecimento sob agitação, até completa dissolução do ágar. Em seguida, foi esterilizado em autoclave a uma temperatura de 121 °C por 20 minutos e vertidos em placas de Petri estéreis.

### 2.3 Determinação da Concentração Inibitória Mínima (CIM) e Concentração Fungicida Mínima (CFM)

A concentração inibitória mínima (CIM) foi determinada de acordo com o documento da NCCLS, norma M38 (2002). A preconizada pela *National Committee for Clinical Laboratory Standard*, que traz o Método de Referência para Testes de Diluição em Caldo para a Determinação da Sensibilidade a Terapia Antifúngica dos Fungos Filamentosos. Para a realização da CIM foram utilizados 12 poços testes contendo o meio RPMI.

Os fungos foram inoculados em ágar DG18 por 7 dias a 25 °C para o crescimento e produção dos esporos. Posteriormente, uma solução estéril de tween 80 a 0,1 %, foi vertida sobre o micélio e feita a raspagem da colônia para liberação dos esporos, os quais foram contados em Câmara de Neubauer. O inóculo foi diluído para uma concentração final de 10<sup>4</sup> esporos/mL, o qual foi utilizado para a determinação da

CIM. Este procedimento foi realizado para ambos os extratos.

O ensaio da CIM ocorreu em placas de 24 poços onde foram utilizados 12 poços por extrato, 10 como poços testes contendo o meio RPMI e a suspensão de cada extrato, e os demais como controle positivo (apenas o meio e o inóculo - poços 11) e controle negativo (apenas o meio - poços 12).

Para cada extrato foram adicionados 500  $\mu\text{L}$  do meio RPMI nos poços 2 ao 10 e 1000  $\mu\text{L}$  nos poços de controle negativo. Nos poços 1 e 2 foram adicionados 500  $\mu\text{L}$  de cada extrato a 1  $\text{g.mL}^{-1}$ . A partir dos poços 2 foram realizadas diluições seriadas dos extratos até os poços 10, transferindo-se 500  $\mu\text{L}$  para cada poço teste e ao final desprezando 500  $\mu\text{L}$  dos poços 10. Em seguida, adicionou-se 500  $\mu\text{L}$  da suspensão à 104 esporos/mL do *B. cinerea* nos poços testes (1 ao 10) e controle positivo (11), reduzindo a concentração dos extratos em cada poço pela metade. As placas foram levemente agitadas para homogeneização do conteúdo, e incubados em estufa a 25 °C por 24-48 h. Após este período foi verificado o crescimento do fungo por meio da turvação do meio e confirmação em microscópio estereoscópio.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para determinar os valores de CIM, foi observada a menor concentração do extrato que impediu o crescimento do inóculo em teste. A CFM foi a menor concentração onde não houve o crescimento do fungo em ágar DG18 tendo como inóculo 10  $\mu\text{L}$  retirado dos poços de crescimento negativo para CIM. Os resultados encontram-se na Tabela 1.

Extratos	CIM*( $\text{g.mL}^{-1}$ )	CFM** (%)
Mutamba	0, 125	12,5
Catuaba	0, 0312	3,125

Tabela 1. Resultado da CIM e da CFM de extrato bruto de mutamba e catuaba frente à *B. cinerea*

\*(CIM) concentração inibitória mínima; \*\*(CFM) concentração fungicida mínima

Para o extrato de mutamba, observou-se que a menor concentração que impediu o crescimento de *B. cinerea*, tanto no ensaio da CIM foi de 0, 125  $\text{g.mL}^{-1}$  e 12,5 % de extrato para CFM. Para o extrato de catuaba a CIM foi de 0, 0312  $\text{g.mL}^{-1}$  e a CFM 3,125 % de extrato.

Fernandes, Santos e Pimenta (2007) estudaram a atividade antimicrobiana do extrato de mutamba, onde foram utilizadas cepas padrões (*Micrococcus luteus* ATCC 9341, *Staphylococcus aureus* ATCC 2722, *S. aureus* AATCC 6538, *S. aureus* ATCC 10495, e bactérias isoladas da saliva de crianças (*S. aureus* M 69, *S. aureus* M 72) que apresentaram atividade antimicrobiana para a maioria das bactérias Gram-positivas analisadas. O extrato *Guazuma ulmifolia* Lam inibiu 72,7 % destas

bactérias. Isso se deve a componentes químicos nas plantas capazes de promover a inibição de determinados microrganismos, como, por exemplo, os flavonoides e os taninos e fitoalexinas. Os flavonoides são substâncias amplamente distribuídas na natureza, e contribuem para a coloração das flores, frutos e folhas, assim como atividade anti-inflamatória, antioxidante, diurética, antiespasmódica, antimicrobiana e anticancerígena.

As fitoalexinas são metabólitos secundários, antimicrobianos, gerados pela planta em resposta a estresses físicos, químicos ou biológicos, sendo que estas, detêm grande diversidade, sendo que mais de 300 tipos já foram caracterizados entre diferentes classes de compostos químicos, como cumarinas, diterpenos, flavonóides e dioxiantocianidinas. O modo de ação sobre fungos inclui a granulação citoplasmática, desorganização dos conteúdos celulares, ruptura da membrana plasmática e inibição de enzimas fúngicas, refletindo na inibição da germinação e alongação do tubo germinativo e redução ou inibição do crescimento micelial (CAVALCANTI et al., 2005). Para Galina (2003), entre várias atividades biológicas referentes às substâncias fenólicas, a atividade antibacteriana é um dos objetivos de estudo. Taninos e compostos fenólicos vêm sendo amplamente reconhecidos por possuir alto potencial antibiótico.

De acordo com Navarro et al. (1996), em um *screening*, com plantas mexicanas, algumas espécies vegetais foram avaliadas, diante dos seguintes microrganismos: *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538), *Escherichia coli* (ATCC 8937), *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 9027), e *Candida albicans* (ATCC 10231). Sendo que o extrato dos frutos da mutamba mostrou atividade inibitória do crescimento microbiano (CIM), de 10, 20, 20 e 40 mg/mL, respectivamente.

Cuzzi et al. (2017) avaliaram o extrato de canola para o controle do *Botrytis cinerea*. Para o crescimento micelial obteve-se resultado na concentração de 8,3 %, com uma inibição de 34,4% sobre o crescimento micelial do patógeno. Com o aumento das concentrações dos extratos ocorreu diminuição na germinação dos conídios.

Outros trabalhos foram realizados na tentativa de inibir o fungo *B. cinerea*. Silva (2014) usou a quitosana e encontrou uma CIM de 0,01 g.mL<sup>-1</sup> para o fungo *Botrytis cinerea*. A quitosana inibiu tanto o crescimento micelial quanto a germinação dos esporos do fungo. Isto se deve, pois, o contato direto dos fungos com a quitosana é o suficiente para produzir o enfraquecimento e o inchaço das hifas, ocasionando mudanças morfológicas na parede celular desse fungo.

Cuzzi et al. (2017) avaliaram o extrato de canola para o controle do *B. cinerea*. Para o crescimento micelial obteve-se resultado na concentração de 8,3 %, com uma inibição de 34,4% sobre o crescimento micelial do patógeno. Com o aumento das concentrações dos extratos ocorreu diminuição na germinação dos conídios.

## 4 | CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que os extratos brutos de mutamba e catuaba são ótimas alternativas naturais para combater o fungo *Botrytis cinerea*, promovendo uma opção mais saudável em combate aos efeitos nocivos de fungicidas comerciais.

## REFERÊNCIAS

- CAMILI, E. C. et al. Avaliação de quitosana, aplicada em pós-colheita, na proteção de uva 'Itália' contra *Botrytis cinerea*. **Summa Phytopathologica**. v.33, p.3, p.215-221, 2007.
- CAVALCANTI, L.S. et al. **Aspectos bioquímicos e moleculares da resistência induzida**. In: CAVALCANTI, L.S. et al. (Eds.). Indução de Resistência em Plantas a Patógenos e Insetos. Piracicaba: FEALQ, p.81-124. 2005.
- COWAN, M. M. Plant Products as Antimicrobial Agents. **Clinical Microbiology Review**, v.12, p.564 – 582, 1999.
- CUZZI, C. **Extratos de canola no controle de *Botrytis cinerea* in vitro e do mofo cinzento em pós-colheita de morangos**. 64f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção Vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2013.
- FERNANDES, T. T; SANTOS, A. F; PIMENTA, F. C. Atividade antimicrobiana das plantas *Plathymenia Reticulata*, *Hymenaea Courbaril* e *Guazuma ulmifolia*. **Revista de Patologia Tropical**, Goiânia, v. 34, n. 2, p.122-133, ago. 2005.
- GALINA, Karen Janaina. **Guazuma ulmifolia Lam., STERCULIACEAE: Estudo Botânico, químico e microbiológico**. 2003. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Farmacêuticas, Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Araraquara, 2003.
- GHINI, R.; VITTI, A. J. Controle integrado de *Botrytis cinerea* na cultura do morango. **Summa Phytopathologica**, v.19, n.1, p.10-13, jan./mar. 1993.
- HOLTZ, S. **Aplicação de ozônio e de revestimentos comestíveis em morangos (*Fragaria ananassa* Duch.) Minimamente processados**. 2006. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Microbiologia Agrária, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.
- LAGOS, J. et al. Caracteres anatômicos de catuaba (*Trichilia catigua* A. Juss., *Meliaceae*). **Latin American Journal Of Pharmacy**, Curitiba, n. 262, p.185-190, out. 2006.
- LONGHINI, R. et al. Development and validation studies for determination of phenylpropanoid-substituted flavan-3-ols in semipurified extract of *Trichilia catigua* by high performance liquid chromatography with photodiode array detection. **Journal of Separation Science**. Maringá, v.36, n. 7, p. 247-254. abr. 2013.
- LOPES, G. C. et al. Condensed Tannins from the Bark of *Guazuma ulmifolia* Lam. (Sterculiaceae). **Journal of The Brazilian Chemical Society**, Maringá, v. 20, n. 6, p.11031109, maio 2009.
- MAFALDA, M. F. V. **Rendimento e ação fungitóxica dos extratos de folhas e cascas da *Guazuma ulmifolia***. 2017. 47 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência Florestal e Ambiental, Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, 2017.

MARTINS, E. L. C. **Avaliação da atividade biológica do extrato bruto da folha da *Guazuma ulmifolia* (mutamba)**. 2017. 57 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências da Saúde. Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2017.

MAZARO, S. M. et al. Potencial de extratos à base de *Calendula officinalis* L. na indução da síntese de fitoalexinas e no efeito fungistático sobre *Botrytis cinerea*, in vitro. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Campinas, v. 15, n. 2, p.208-216, jan. 2013.

MONTEIRO, E. C. **Uso de plantas medicinais no controle de antracnose em frutos de morango**. 2017. 35 f. Monografia (Especialização) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Santa Catarina, Curitiba, 2017.

NAVARRO, V. et al. Antimicrobial evaluation of some plants used in Mexican traditional medicine for the treatment of infectious diseases. **Journal of Ethnopharmacology**, v.53, p. 143-147, 1996.

NCCLS - **National Committee for Clinical Laboratory Standards. In: Methods for Dilution Antimicrobial Susceptibility tests for Bacteria that grow Aerobically**. Villanova, PA: National Committee for Clinical Laboratory Standards, Publication M7-T, 2002.

OLIVEIRA, K. P. et al. Análise farmacognóstica comparativa de dois lotes de cascas de *Trichilia Catigua* *adr. Juss.* (Meliaceae), a catuaba da Bahia. **Revista Pesquisa e Inovação Farmacêutica**, São Paulo, v. 1, n. 3, p.2-8, mar. 2011.

SILVA, L. J. **Controle Biológico de *Botrytis Cinerea* em pós-colheita de morango (*Fragaria x ananassa*) por linhagem *Streptomyces araouniae* sp. nv.** 2013. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

SILVA, L. P. **Avaliação da atividade antimicrobiana da N,n,n-trimetilquitosana e da quitosana comercial sobre o crescimento de bactérias gram-positivas e gram-negativas de fungo filamentosos**. 2014. 83 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Biotecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014.

STANGARLIN, J. R. et al. Plantas medicinais e controle alternativo de fitopatógenos. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, v. 11, n. 3, p. 16-21, 1999.

UENO, B. **Manejo Integrado de Doenças do Morango**. 2004. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/33515/1/documento-124.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2019.

VALMORBIDA, J. et al. Enraizamento de estacas de *Trichilia catigua* a. juss (catigua) em diferentes estações do ano. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 3, p.435-442, maio 2008.

## COMPARAÇÃO DE LEVEDURAS CERVEJEIRAS SECA E ÚMIDA

**Camila A. Carazzato**

E-mail: camila.carazzato@usp.br

**Mário L. Lopes**

**Sandra H. da Cruz**

**RESUMO:** A fermentação alcoólica do mosto cervejeiro, resultado do metabolismo de leveduras inoculadas ao meio, desempenha influência no perfil da bebida produzida (WHITE, 2010). Assim, o presente trabalho teve como objetivo identificar as diferenças entre parâmetros indicadores de qualidade da cerveja durante e ao término da fermentação por *Saccharomyces cerevisiae* na forma seca e úmida. Foram conduzidos 6 ensaios de fermentação, sendo 2 tratamentos com 3 repetições cada. A cada 24 horas, durante 7 dias, analisou-se físico-quimicamente e microbiologicamente cada amostra. Já ao final da fermentação, foram realizadas análises de parecer sensorial e quantificação de compostos voláteis, para construir seus perfis organolépticos. Os resultados encontrados indicaram que as cervejas produzidas com as leveduras avaliadas neste trabalho não apresentaram diferenças marcantes quanto à velocidade de fermentação e atenuação do mosto. Porém, as leveduras diferiram na viabilidade celular, o que pode afetar a qualidade da bebida.

**ABSTRACT:** The alcoholic fermentation of the brewer's wort, a result of the metabolism of yeasts inoculated in the medium, influences the profile of the beverage produced (WHITE, 2010). Thus, the present work had as objective to identify the differences between parameters indicators of beer quality during and at the end of the fermentation by *Saccharomyces cerevisiae* in dry and humid form. Six fermentation trials were conducted, two treatments with three replicates each. Every 24 hours, for 7 days, each sample was analyzed physically-chemically and microbiologically. At the end of the fermentation, sensorial analysis and quantification of volatile compounds were performed to construct their organoleptic profiles. The results showed that the beers produced with the yeasts evaluated in this work did not show marked differences in the fermentation speed and the attenuation of the wort. However, yeast differed in cell viability, which may affect the quality of the beverage.

### INTRODUÇÃO

O Brasil posiciona-se entre os três maiores produtores de cerveja no mundo (13 bilhões de litros por ano), e com consumo per capita de 62 litros demonstra potencial de mercado crescente, haja vista que esses números representam menos da metade do consumo

por pessoa na República Checa e pouco mais da metade dos números na Alemanha (CERVBRASIL, 2016).

A qualidade do produto final, segundo o SEBRAE (2015), é fundamental para conquistar consumidores. Espera-se que a indústria nacional possa ofertar cervejas microbiologicamente, quimicamente e, conseqüentemente, sensorialmente qualificadas, de forma contínua e padronizada, conquistando cada vez mais o mercado mundial (SEBRAE, 2017). Segundo White, Zainasheff (2010), a fermentação do mosto cervejeiro, resultado da inoculação de leveduras ao mosto cervejeiro, desempenha papel crucial neste quesito.

As leveduras são micro-organismos unicelulares que transformam o açúcar do meio em etanol, gás carbônico, energia e compostos secundários, como ésteres e fenóis, que são os responsáveis por parte do sabor e aroma do produto final (HUGHES, 2013). Estes compostos têm uma grande influência sobre a cerveja pronta, e sua síntese está ligada às condições fisiológicas das leveduras utilizadas (WHITE, ZAINASHEFF, 2010).

Existem muitas espécies diferentes de leveduras, sendo *Saccharomyces cerevisiae* e *Saccharomyces pastorianus* as mais usadas na fabricação de cervejas (HUGHES, 2013). Além da produção de compostos secundários, outros parâmetros diferenciam as cepas de leveduras, como sua taxa de crescimento, cinética de fermentação, capacidade de atenuação e floculação, etc. (HUGHES, 2013). Estas diferenças fisiológicas e metabólicas irão resultar o produto final quanto ao teor alcoólico, corpo, textura, carbonatação, turvação, formação de espuma, aroma, sabor, *off-flavors*, etc. (WHITE, ZAINASHEFF, 2010).

A operação de secagem das leveduras facilita a estocagem, o transporte e a comercialização do insumo (JOSIC, 1982). Porém, a levedura para se tornar desidratada passa por um processo que, apesar de não matar, estressa suas células, retardando o início da fermentação (WHITE, ZAINASHEFF, 2010). Por isso, espera-se que fermentos líquidos possuam maior viabilidade (WHITE, ZAINASHEFF, 2010).

A fim de atingir exigências mercadológicas atuais, pretende-se com os dados gerados neste estudo disponibilizar conteúdo científico sobre o desempenho fermentativo das leveduras ofertadas na forma seca e úmida.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Materiais

Extrato de malte líquido não lupulado (Bavarian Pilsner – Weyermann), levedura seca Safale S-04 (*Saccharomyces cerevisiae* – Fermentis/Lesaffre) e levedura úmida FT008C (*Saccharomyces cerevisiae* – Fermentec). Os meios de cultivo foram: Difco Plate Count Agar (Becton, Dickinson and Company), Bacto Agar (Becton, Dickinson and

Company), Difco YPD Broth (Becton, Dickinson and Company), Difco Lactobacilli MRS Broth (Becton, Dickinson and Company). Os antibióticos actidiona (Sigma), tetraciclina (InLab) e cloranfenicol (InLab) foram utilizados para a preparação dos meios de cultura. Óleo de imersão (Merck), Sulfato azul de nilo (Merck), corante azul de metileno (Merck), eritrosina (Merck) e solução tampão fosfato de sódio (Synth) foram utilizadas para análises no microscópio óptico. Os equipamentos utilizados foram: Destiladora de água Millipore 60 litros, Deionizadora de água Millipore, Agitador de tubos Phoenix A856, Centrifuga Sigma 1-15K, Autoclave Phoenix, Balança digital BEL, Ultrafreezer Indrel, Incubadora Marconi, Banho Maria Marconi MA 159, Câmara de fluxo Bioflux II 90<sup>a</sup>, Refratômetro Atago RX-500, Phmetro Micronal B474, Microscopio Nikon Eclipse E200, BOD Tecnal TE-371, Câmara fria Frilux, Centrifuga Beckman Coulter Avanti J-E.

## Análises

A cada 24 horas foram realizadas amostragens de cada frasco de fermentação, até atenuação completa do mosto cervejeiro. As análises realizadas foram: velocidade fermentativa, atenuação, taxa de crescimento, brotamento e viabilidade das células; contaminação bacteriana. Ao final da fermentação foram realizadas análises de parecer sensorial e a quantificação de compostos voláteis.

A velocidade de fermentação foi determinada por pesagem em balança de precisão com base na perda de massa devido a formação de CO<sub>2</sub>. O grau de atenuação foi determinado a partir da redução do Brix por refratômetro.

A floculação foi avaliada visualmente durante o transcorrer das fermentações e classificada quanto a sua intensidade nas categorias apresentadas na Tabela 1.

Descrição	Intensidade da floculação
Levedo sem floculação, com células distribuídas de forma uniforme no meio de fermentação	-
Levedo levemente floculado, sem formação de grumos, mas com pequeno volume decantado no fundo do frasco.	+
Levedo parcialmente floculado, formando pequenos grumos em suspensão e levando a separação de fases quando em repouso.	++
Levedo floculado, caracterizado pela formação de sedimento no fundo do frasco de fermentação e grumos facilmente visíveis a olho nu causando a separação de fases.	+++
Levedo fortemente floculado com grande volume de sedimentos e grumos semelhantes a grãos de areia ou leite talhado.	++++

Tabela 1. Descrição e intensidade da floculação do levedo durante a fermentação.

A determinação da população, brotamento e viabilidade celular foi realizada

por contagem em microscópio óptico conforme descrito por Cherubin (2003). A determinação da contaminação bacteriana foi realizada conforme metodologia descrita por Amorim et al. (1982).

O parecer sensorial foi construído através de análises descritivas visual, olfativa e gustativa, feitas por profissionais do Laboratório de Tecnologia e Química de Bebidas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, conforme metodologias descritas por Lê *et al.* (2008), Jack, Piggott (1992) e Piggott (1990).

Os compostos voláteis foram determinados por cromatografia gasosa. As análises foram realizadas pelo laboratório de Tecnologia de Alimentos da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, conforme metodologia descrita por Bortoletto, Alcarde (2013).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A liberação de CO<sub>2</sub> pelas duas leveduras foi similar, como mostrado na Figura 1 e 2.

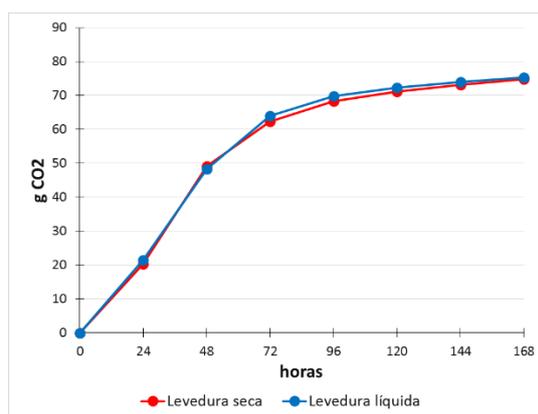


Figura 1. Liberação de CO<sub>2</sub> produzido por fermentação alcoólica das linhagens tipo ale

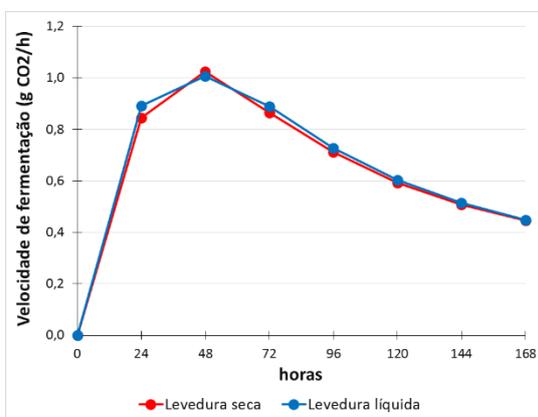


Figura 2. Velocidade fermentativa das leveduras seca e úmida por 168 horas.

Atenuação se mostrou coerente com tal resultado ao longo de todo o experimento (Figura 3).

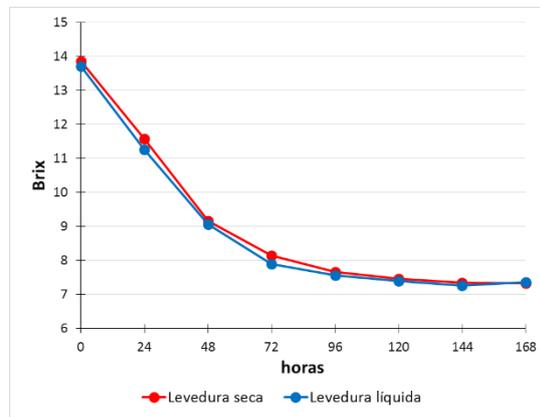


Figura 3. Atenuação do Brix pelas leveduras seca e úmida.

A floculação e sedimentação foi similar entre todas as amostras (Tabela 2).

Floculação	0	24	48	72	96	120	144	168
Frasco 1	-	-	+	++	+++	+++	+++	++
Frasco 2	-	-	+	++	+++	+++	+++	++
Frasco 3	-	-	+	++	+++	+++	+++	++
Frasco 4	-	-	+	++	+++	+++	+++	++
Frasco 5	-	-	+	++	+++	+++	+++	++
Frasco 6	-	-	+	++	+++	+++	+++	++

Tabela 2. Avaliação da intensidade de floculação do levedo durante a fermentação.

Apesar da população de ambas as leveduras apresentarem valores próximos (Figura 4), a viabilidade celular resultou em diferença considerável, com a levedura úmida altamente viável desde o início da fermentação (97%), atingindo 99% nas primeiras 24 horas, e se mantendo estável até o final da fermentação. Já a levedura seca S-04 (Fermentis) demonstrou desvantagem, iniciando a fermentação com viabilidade abaixo de 80% e oscilando entre valores sempre menores (Figura 5).

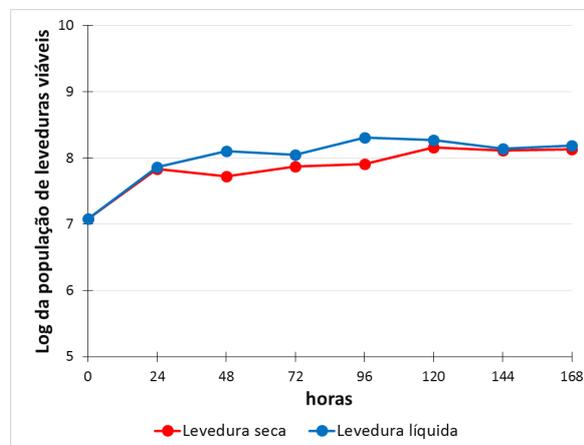


Figura 4. População de leveduras viáveis durante fermentação alcoólica em mosto cervejeiro

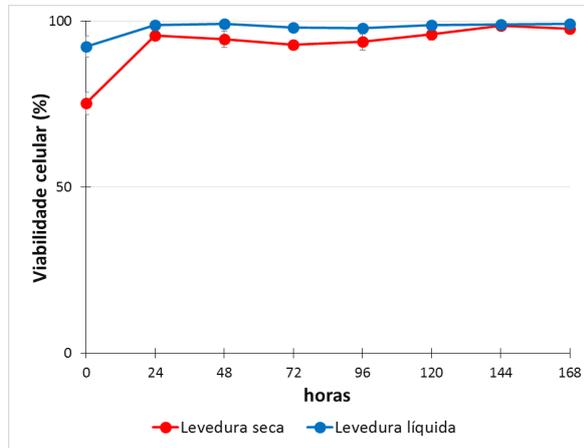


Figura 5. Viabilidade celular das leveduras seca e úmida durante a fermentação alcoólica

Quanto ao brotamento das células, os tratamentos apresentaram valores diferentes e bastante variados ao longo da fermentação (Figura 6).

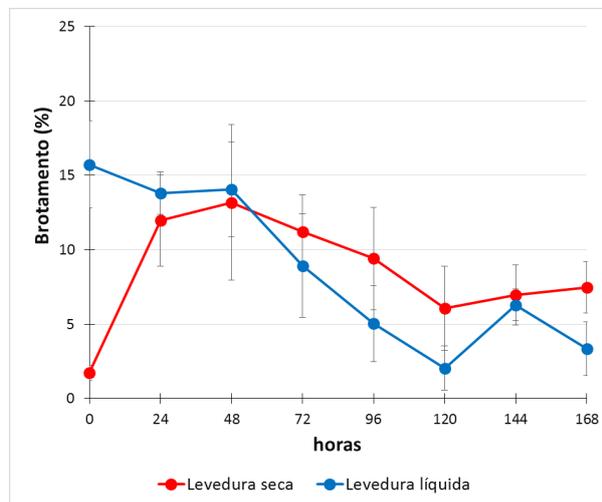


Figura 6. Porcentagem de brotamento das células de levedura durante fermentação.

A população de bactérias também apontou valores próximos para os dois tratamentos (Figura 7).

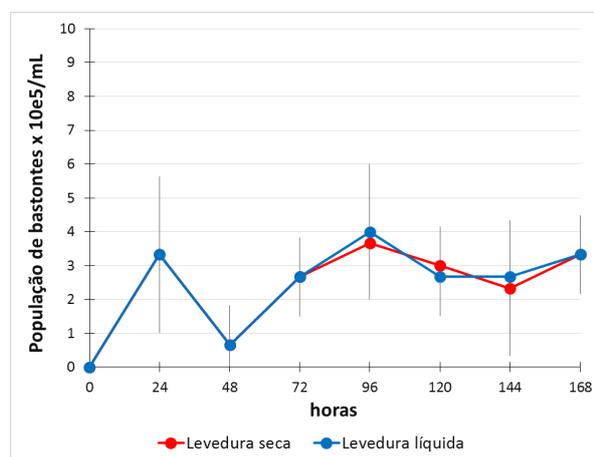


Figura 7. População de bactérias identificadas no meio durante fermentação.

O parecer sensorial indicou a presença, em todas as amostras, de aromas frutados e adocicados, coloração amarelo acobreado e gosto doce. Realizada uma análise de agrupamento (Cluster analysis), tentou-se entender qual é o grau de proximidade/similaridade entre as amostras de cerveja (Figura 8).

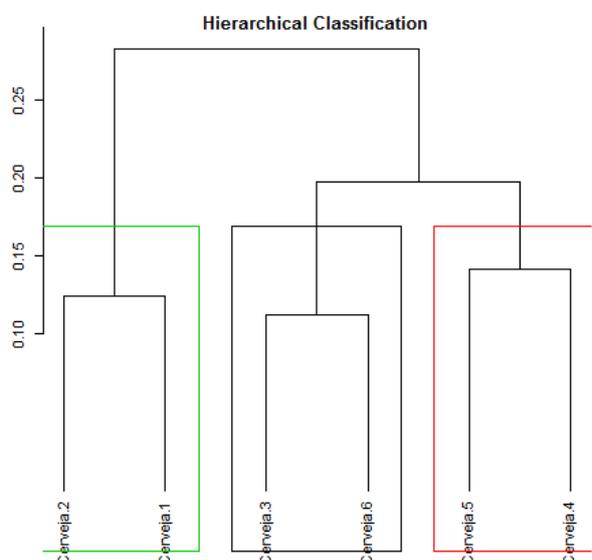


Figura 8. Análise de agrupamento hierárquico realizada para as seis amostras de cerveja.

Foram formados 3 grupos com maior grau de similaridade entre as amostras segundo seus descritores sensoriais:

- Grupo A: Cerveja 1 e Cerveja 2
- Grupo B: Cerveja 3 e Cerveja 6
- Grupo C: Cerveja 4 e Cerveja 5

As amostras colocadas em um mesmo grupo, segundo os atributos sensoriais, coincidem com as amostras que possuem perfil químico semelhante quanto aos compostos: iso-butanol, e álcool iso-amílico (CERTIFICADO DE ANÁLISE N° 02-10/17), observado na Tabela 3.

A Figura 9 corresponde ao mapa das amostras representadas em duas dimensões obtidas pela análise multivariada. A diferença entre amostras no eixo horizontal corresponde ao caráter de acidez: à direita no eixo horizontal diminui a caracterização de acidez da cerveja (notas de frutas vermelhas, frutas passas); e a esquerda aumenta o caráter de acidez (descritores aromáticos de frutas ácidas bem como gosto ácido moderado).

	mg/100mL						
Amostras	1	2	3	4	5	6	LD
Aldeído acético	0,97	0,96	0,90	0,97	0,82	0,86	0,08

Acetato de etila	0,32	0,29	0,45	0,45	0,50	0,52	0,04
Metanol	< LD	0,16					
2-butanol	< LD	0,18					
1-propanol	1,37	1,50	1,48	1,41	1,40	1,72	0,06
Iso-butanol	0,53	0,68	0,81	0,07	0,05	0,56	0,03
1-butanol	< LD	0,06					
Iso-amílico	5,38	5,74	6,52	4,95	5,03	6,99	0,02
Ácido acético	< LD	0,50					
Furfural	< LD	0,01					
Etanol (% v/v)	5,38	5,38	5,49	5,45	5,46	5,59	0,01

Tabela 3. Quantidade de compostos voláteis de cada amostra após o término da fermentação.

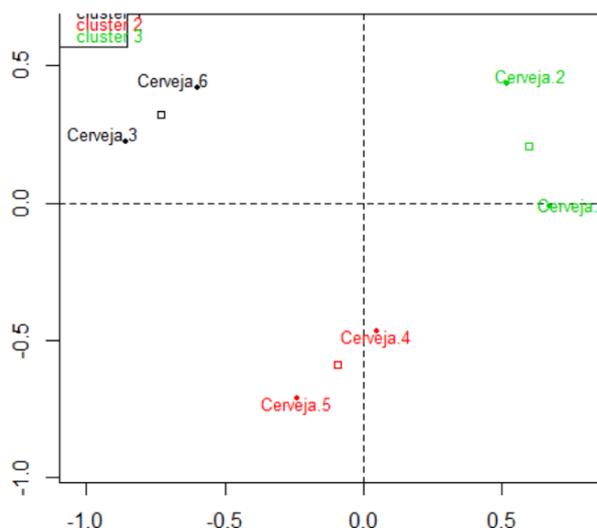


Figura 9. Mapa das amostras de cerveja segundo resultado da análise multivariada de correspondência.

## CONCLUSÃO

Conclui-se que as leveduras *S. cerevisiae* avaliadas neste trabalho não apresentam diferenças marcantes no seu metabolismo quanto a velocidade de fermentação e capacidade de atenuação, sejam comercializadas na forma seca ou úmida. Mas diferem na viabilidade celular, e, apesar de não apresentar diferenças demasiadas quanto ao parecer sensorial, foi possível distanciar as amostras estatisticamente, fatores que podem afetar o tempo de processo e a qualidade da bebida.

## REFERÊNCIAS

AMORIM, V.; ZAGO, E. A.; OLIVEIRA, A. J. Novos Métodos para o controle de fermentação alcoólica. **Sociedade Brasileira de Microbiologia: séries manuais técnicos**, São Paulo, v.1, p. 58, 1982.

BORTOLETTO, A. M.; ALCARDE, A. R. Congeners in sugar cane spirits aged in casks of different woods. **Food Chemistry**, v. 139, p. 695-701, 2013.

BRASIL. **Decreto nº 6.871, de 4 de junho de 2009**. Regulamenta a Lei nº 8.918, de 14 de julho

de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. Brasília, 2009.

CHERUBIN, Rudimar Antonio. **Efeitos da viabilidade da levedura e da contaminação bacteriana na fermentação alcoólica**. 2003. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

HUGHES, G. **Home brew beer**. 2ª. ed. United Kingdom: DK Adult, 2013. 224 p.

JACK, F. R., PIGGOTT, J. R. Free choice profiling in consumer research. **Food Quality and Preference**, v. 64, p. 129-134, 1992.

JACKSON, M. **The new world guide to beer**. 3ª. ed. United States: Running Press Book Publishers, 1988. 256 p.

JOSIC, D. Optimization of process conditions for the production of active dry yeast. **Lebensm - Wiss. und Technol.**, v. 15, p. 5-14, 1982.

LÊ, S., JOSSE, J., HUSSON, F. Facto Mine R: An R Package for Multivariate Analysis. **Journal of Statistical Software**, v. 25, p. 1-18, 2008.

MADEIRA, J.S. **Perfil do consumidor de cervejas especiais: uma contribuição para o estudo do consumo nas ciências sociais**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Sociais) – Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

PIGGOTT, J. R. Consumer’s perception of whiskies and other alcoholic beverages. **Food Quality and Preference**, v. 56, p.177-185, 1990.

SANTIN, Ana Paula. **Estudo da secagem e da inativação de leveduras saccharomyces cerevisiae**. 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SEBRAE INTELIGÊNCIA SETORIAL. **Cervejas artesanais**. Disponível em: <https://www.sebraeinteligenciasetorial.com.br/produtos/relatorios-de-inteligencia/cervejasartesanais/55c4ad3614d0c01d007ffeae> . Acesso em 07 jun. 2017.

SEBRAE. **Micro-cervejarias**. Disponível em: [http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS\\_CHRONUS/bds/bds.nsf/8818d2954be64fcd8628defef1f70f8/\\$File/7503.pdf](http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/8818d2954be64fcd8628defef1f70f8/$File/7503.pdf) . Acesso em 12 jun. 2017.

VIVIAN, Adriana Fu. **Espectrometria de massas para caracterização do processo produtivo de cerveja**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

WHITE, C.; ZAINASHEFF, J. **Yeast: the practical guide to beer fermentation**. 5ª. ed. United States: Brewers Publications, 2010. 304 p.

WYLER, Patricia. **Influência da madeira de carvalho na qualidade da cerveja**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

## INFLUÊNCIA DO USO DE TRAÇADOR COLORIDO NO CULTIVO EM ESTADO SÓLIDO

### **Marianny Silva Canedo**

Universidade Estadual Paulista, Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos  
São José do Rio Preto – São Paulo

### **Lucas Portilho da Cunha**

Universidade Estadual Paulista, Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos  
São José do Rio Preto – São Paulo

### **João Paulo Henrique**

Universidade Estadual Paulista, Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos  
São José do Rio Preto – São Paulo

### **João Cláudio Thoméo**

Universidade Estadual Paulista, Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos  
São José do Rio Preto – São Paulo

**RESUMO:** O cultivo em estado sólido (CES) vem sendo amplamente investigado devido à possibilidade em se usar resíduos sólidos agroindustriais como substrato, reduzindo o custo dos produtos obtidos. Uma dificuldade deste processo é a quantificação da biomassa microbiana, estimada pelo uso de métodos indiretos, como por exemplo, N-acetilglicosamina, gases de respiração ( $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$ ) e quantificação visual do micélio. Neste último caso, é comum empregar-se corantes para diferenciar biomassa vegetal e microbiana. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do

uso de traçador colorido sobre o crescimento do fungo *Myceliophthora thermophila* I-1D3b em substrato composto por bagaço de cana-de-açúcar e farelo de trigo, estimado pela técnica de respiração e pela técnica de processamento digital de imagem (PDI). Para tanto, adicionou-se solução Rodamina B para corar o meio de cultivo, executando-se cultivos por 96 h com e sem traçador, medindo-se a produção de  $\text{CO}_2$  e analisando-se amostras por PDI. Diante dos resultados apresentados pela técnica PDI, não se observou diferença no crescimento do micélio no substrato sem e com coloração por Rodamina B, porém as concentrações de  $\text{CO}_2$  observadas indicam que o corante pode interferir na atividade metabólica do microrganismo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cultivo em estado sólido, processamento digital de imagem, crescimento fúngico.

### INFLUENCE OF THE USE OF COLORED TRACER IN SOLID STATE CULTIVATION

**ABSTRACT:** Solid-state cultivation (SSC) has been widely used due to the possibility of using agroindustrial solid wastes as substrate, reducing costs of the obtained products. One difficulty of this process is the quantification of biomass, usually estimated using indirect methods, such as N-acetyl-glucosamine, respiration gases ( $\text{CO}_2$  and  $\text{O}_2$ ) and visual quantification of the

mycelium. The later method is often carried out with the aid of color tracers. Thus, the objective of this work was evaluate the influence of the use of colored tracer on the growth of the fungus *Myceliophthora thermophila* I-1D3b in a substrate composed of sugarcane bagasse and wheat bran, estimated by the respiration technique and the digital image processing (DIP) technique. Rhodamine B solution was used to dye the culture medium, since it was assumed that the tracer could affect microbial growth. Experiments with and without the use of Rhodamine B were evaluated by the production of CO<sub>2</sub> and DIP technique during 96 hours. The results from the DIP using the color tracer did not differ from the ones obtained without it, even though the concentrations of CO<sub>2</sub> indicated that the fungal metabolic activity has been affected by the tracer.

**KEYWORDS:** solid-state cultivation, digital image processing, fungal growth.

## 1 | INTRODUÇÃO

O cultivo em estado sólido (CES) é definido como o processo de fermentação realizado em substrato sólido com umidade suficiente para suportar o crescimento e atividade metabólica do microrganismo, mas sem exceder a capacidade de retenção de água do meio poroso (THOMAS; LARROCHE; PANDEY, 2013). Neste contexto, tem-se utilizado resíduos das agroindústrias como substratos, devido à sua alta disponibilidade e baixo custo, tornando este processo vantajoso quando comparado ao cultivo submerso (WANG; YANG, 2007; SOCCOL et al., 2017).

Os principais problemas a serem enfrentados no CES em escala industrial estão relacionados aos aspectos de engenharia, como falta de processos padronizados, reprodutibilidade limitada dos resultados experimentais, alta resistência às transferências de massa e energia, dificuldade em manusear sólidos em reatores e a quantificação de biomassa para a proposição da cinética de reações (WANG; YANG, 2007; SOCCOL et al., 2017).

A estimativa da biomassa é um parâmetro essencial para o controle dos processos, no entanto, a medida direta no substrato sólido não é possível, devido à dificuldade de separar o microrganismo do substrato, que permanece entremeado entre os poros e aderido às partículas. Dessa forma, o uso de métodos indiretos é necessário para os estudos cinéticos do crescimento microbiano, dentre os quais pode-se destacar, a estimativa de componentes da estrutura celular (N-acetil-glicosamina, ergosterol e proteínas, por exemplo), de metabólitos (enzimas), de gases de respiração (CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>) e quantificação visual do micélio (processamento digital de imagem - PDI) (COURI et al., 2006; RUTSATZ, 2006). Para diferenciar partículas em biomassa fúngica nos ensaios de PDI, é frequente o uso de corantes do material sólido e uma das vantagens da técnica é sua rapidez e baixo custo. Em biorreatores de tambor rotativo, o PDI pode ser empregado para avaliar a movimentação das partículas (GRAJALES-AGUDELO et al., 2012; TADA et al., 2017) e potencialmente poderia ser aplicado para avaliação do crescimento microbiano e de sua influência sobre a movimentação do meio.

Diante da possibilidade de uso da técnica de PDI para avaliar o crescimento fúngico em biorreator de tambor rotativo, o objetivo deste estudo foi avaliar a influência do uso do traçador colorido Rodamina B no crescimento do fungo *Myceliophthora thermophila* I-1D3b em substrato composto por bagaço de cana-de-açúcar e farelo de trigo. O crescimento do fungo foi estimado pela produção de CO<sub>2</sub> e pela técnica de processamento digital de imagem. Os resultados obtidos são úteis para o desenvolvimento de biorreatores para CES.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Substrato

Foi utilizado como substrato bagaço de cana-de-açúcar e farelo de trigo. O bagaço foi doado pela Companhia Virgolino de Oliveira Açúcar e Álcool, de José Bonifácio – SP, sendo esse, seco em estufa com circulação de ar a 60°C ± 1°C até peso constante, peneirado para conferir maior uniformidade ao meio poroso, e padronizado como a fração retida entre peneiras com diâmetros 2 e 4 mm. O farelo de trigo foi adquirido no comércio local e seco em estufa com circulação de ar a 45°C ± 1°C até peso constante. Nesses substratos adicionou-se solução Rodamina B a 0,02% (m/v) até obterem coloração homogênea, após, foram secos novamente, nas mesmas condições especificadas. Em seguida os substratos foram armazenados em embalagens de polietileno de baixa densidade (PEBD) em temperatura ambiente (25 ± 2°C). Os cultivos sem e com coloração foram denominados como CN e CR, respectivamente.

### 2.2 Cultivo em estado sólido

O fungo *Myceliophthora thermophila* I-1D3b, foi isolado pelo Grupo de Pesquisa em Bioenergia do IBILCE/UNESP a partir de pilhas de bagaço de cana-de-açúcar. A manutenção do microrganismo foi realizada à temperatura ambiente em tubos de ensaio contendo meio ágar batata dextrose (BDA) recoberto por um filme de óleo mineral. O inóculo foi preparado cultivando-se o fungo a 45°C em estufa DBO por 96 h, em frascos Erlenmeyer inclinados contendo meio BDA. Após o cultivo, foi adicionada solução nutriente aos frascos e a superfície do meio foi raspada para a suspensão dos esporos. A solução nutriente foi composta de 3,5 g/L de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 3,0 g/L de K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 0,5 g/L de MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, 0,5 g/L de CaCl<sub>2</sub> e 1,0 g/L de Tween 80, ajustada para pH 5,0 com solução de HCl. A concentração de esporos foi determinada por contagem em Câmara de Neubauer em microscópio ótico.

Nos ensaios de fermentação foram utilizadas as condições de cultivo otimizadas por Zanelato et al. (2012), empregando-se proporções de 7:3 (p/p) de bagaço de cana-de-açúcar e farelo de trigo, respectivamente, autoclavados a 121°C por 20 min. Os substratos foram umidificados a 75% (b.u.) com suspensão de inóculo na concentração

de  $10^7$  esporos/g meio seco, mantidos à temperatura de  $45^\circ\text{C}$  por 96 horas em câmara DOB ou em biorreator de leito empacotado.

## 2.3 Determinação indireta do crescimento fúngico

### 2.3.1 Técnica de processamento digital de imagem

Realizou-se cultivos em placas de Petri, sem e com a adição de Rodamina B, como mostra a Figura 1. A cada 24 horas, as placas foram fotografadas sob condições de iluminação controladas utilizando câmera digital DSC RX-100 (Sony Co., China). Em seguida as imagens foram digitalizadas e analisadas empregando-se o *software Image Pro Plus 6* (Media Cybernetics Inc., Rockville, EUA), onde a área de coloração reconhecida pelo programa correspondia ao substrato sem ocupação de hifas na superfície da placa.

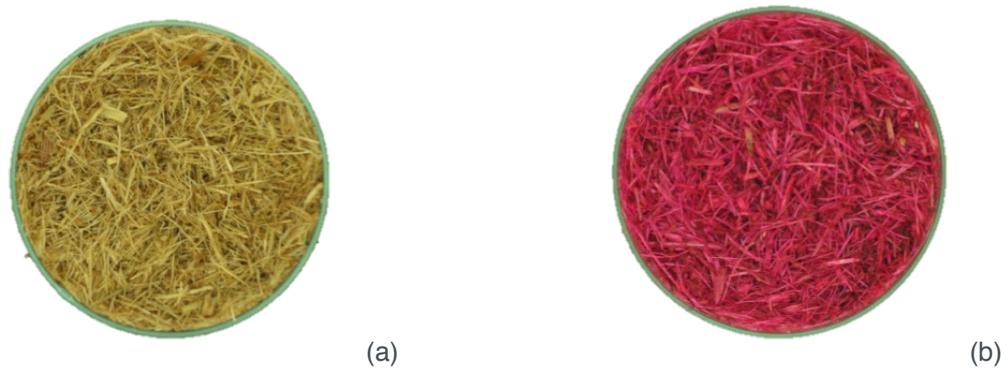


Figura 1. Imagem das placas de Petri utilizadas para o cultivo em estado sólido: a) sem coloração (CN); b) com coloração (CR).

### 2.3.2 Produção de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ )

Os ensaios foram realizados em biorreator de leito empacotado, construído de forma modular em aço inox, composto por cinco módulos de diâmetro interno 7,26 cm e altura 10 cm, similar ao empregado por Perez et al. (2019). O comprimento total do leito foi de 50 cm, a temperatura da camisa foi fixada em  $45^\circ\text{C}$ , por intermédio da circulação de água, e o ar foi introduzido à vazão de 43 L/h, a  $45^\circ\text{C}$ , por 96 horas. A massa de substrato empacotado foi de 45 gramas de sólido seco em cada módulo e a vazão de ar utilizada foi calculada com base no número modificado de Damköhler igual a 1, seguindo-se Perez et al. (2019). Foram realizados experimentos simultâneos do substrato com e sem adição de solução Rodamina B em biorreatores independentes. Durante o cultivo foi feita a coleta dos gases em cada módulo e estes foram analisados para determinação da concentração de  $\text{CO}_2$  por meio de um analisador de gases Tandem-Pró (Magellan Biotech, Hertfordshire, G. B.). Para calcular a taxa de produção de  $\text{CO}_2$  ( $P_{\text{CO}_2}$ , em  $\text{g}_{\text{CO}_2}/\text{h}$ ), assume-se que o  $\text{CO}_2$  se comporta como um gás ideal. O valor da taxa de produção de  $\text{CO}_2$  foi calculado conforme Koutinas; Wang e Webb

(2003).

$$P_{CO_2} = F \cdot \frac{(C-C_0)}{100} \cdot \frac{(M_{CO_2} \cdot \rho_{ar})}{M_{ar}} \quad (1)$$

em que  $F$  é a vazão de ar (L/h);  $C$  é a porcentagem de  $CO_2$  no ar de saída (em volume),  $C_0$  é a porcentagem de  $CO_2$  no ar de entrada (em volume),  $M_{CO_2}$  é a massa molar do  $CO_2$  (kg/mol),  $M_{ar}$  é a massa molar do ar (kg/mol) e  $\rho_{ar}$  é a densidade do ar (kg/m).

Assumiu-se que o  $CO_2$  não se acumulou no meio, os fluxos de entrada de ar e de saída de gás foram iguais e a massa do leito não se alterou significativamente durante o cultivo.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os resultados da técnica de PDI e a Figura 2 mostra como foi realizada a quantificação da área de crescimento do *M. thermophila* I-1D3b no cultivo em estado sólido. Observou-se que a partir de 24 horas de cultivo é possível acompanhar o crescimento do fungo, que ocupou quase toda a superfície do meio em 96 horas (Tabela 1), e esses resultados não diferiram significativamente quando comparado o meio de cultivo com e sem coloração com Rodamina B. Durante esse período, notou-se que a cor na superfície do substrato mudou durante o cultivo sólido, devido ao crescimento do fungo. Resultados semelhantes foram apresentados por Gomes (2015) ao monitorar a área de crescimento da biomassa do fungo *M. thermophila* M.7.7 ao longo do processo de cultivo em estado sólido por 120 horas no mesmo substrato, afirmando que em meios de cultivos onde existe um contraste eficiente entre o microrganismo e o meio, também é possível quantificar a taxa de crescimento microbiano por PDI.

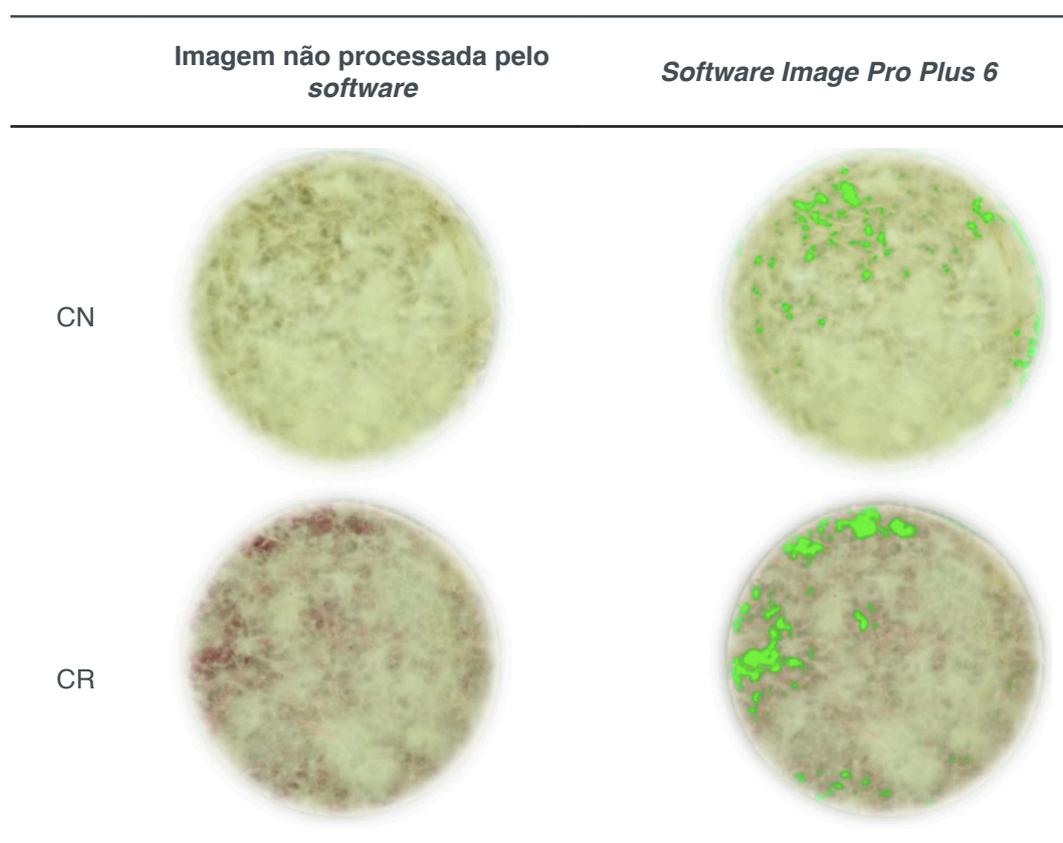
Cultivo	Tempo (horas)			
	24	48	72	96
CN	73,55 ± 2,75 <sup>a</sup>	37,95 ± 9,00 <sup>a</sup>	21,24 ± 0,99 <sup>a</sup>	3,25 ± 0,12 <sup>a</sup>
CR	73,41 ± 1,15 <sup>a</sup>	37,98 ± 7,73 <sup>a</sup>	22,12 ± 4,49 <sup>a</sup>	3,65 ± 2,41 <sup>a</sup>

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Tabela 1.** Resultados da área colorida identificada pelo *software Image Pro Plus 6* em relação à área total (em porcentagem), correspondente à área de substrato sem colonização.

Neste contexto, estão disponíveis na literatura trabalhos que empregaram a técnica de análise de imagens em sistemas particulados, alguns aplicados a tambores rotativos, como Tada et al. (2017), que avaliaram a mistura e movimentação de

partículas de bagaço de cana-de-açúcar em tambor rotativo, utilizando Rodamina B como marcador. O trabalho ressalta que a área reconhecida pelo *software* é muito próxima à concentração de traçador das amostras preparadas. Couri et al. (2006) utilizaram uma técnica de PDI com aplicação de operações matemáticas, máscara binária e filtros (lineares e não lineares), adquirindo imagens em microscópio óptico, para uma melhor visão sobre o monitoramento do crescimento de *Aspergillus niger* 3T5B8 no cultivo em estado sólido, usando farelo de trigo como substrato, onde indicou que a técnica pode ser usada para estimativa indireta do crescimento microbiano. Ainda assim, poucas referências são encontradas utilizando a técnica de PDI para a avaliação do crescimento de fungos filamentosos em cultivo sólido.



**Figura 2.** Quantificação da área de crescimento do *Myceliophthora thermophila* I-1D3b em cultivo no estado sólido no tempo de 96 horas.

A Figura 3 apresenta a taxa de produção de gás carbônico por hora de cultivo em biorreator de leito empacotado, enquanto a Figura 4 apresenta o total acumulado, em porcentagem, no tempo de cultivo. Uma das vantagens da medida da concentração de CO<sub>2</sub> é não necessitar de amostragem do meio de cultivo, pré-tratamentos e análises químicas do fermentado, podendo ser realizadas medidas *online* (CASCIATORI, 2015). Nesse estudo não foi possível correlacionar os dados com a produção de biomassa do fungo, pois essa estimativa precisa ser calibrada por algum outro método de referência.

Comparando-se os resultados de CN e CR nas Figuras 3 e 4, observa-se que até 36 horas de cultivo as concentrações praticamente se sobrepõem. No entanto, para tempos posteriores, as concentrações de CO<sub>2</sub> obtidas nos cultivos com Rodamina B

foram inferiores às obtidas sem o corante, indicando que o corante inibiu o crescimento microbiano. Como os resultados do PDI para os cultivos CN e CR pouco diferiram, acredita-se que o crescimento do fungo na superfície das placas de Petri expostas ao ar não foi afetado, mas que no interior do biorreator houve a geração de algum composto inibitório que não foi satisfatoriamente removido, afetando o metabolismo microbiano.

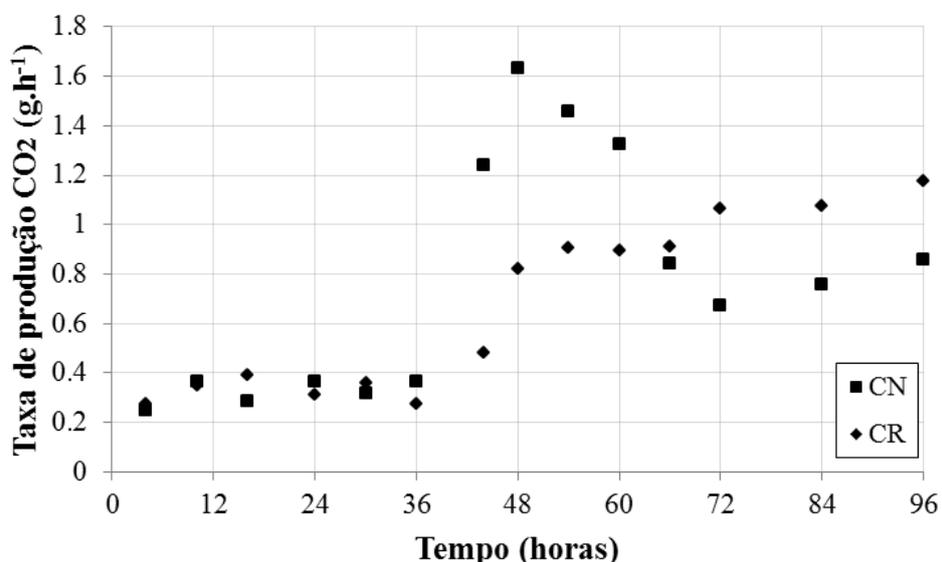


Figura 3. Taxa de produção de CO<sub>2</sub> por hora de cultivo em estado sólido de *Myceliophthora thermophila* I-1D3b.

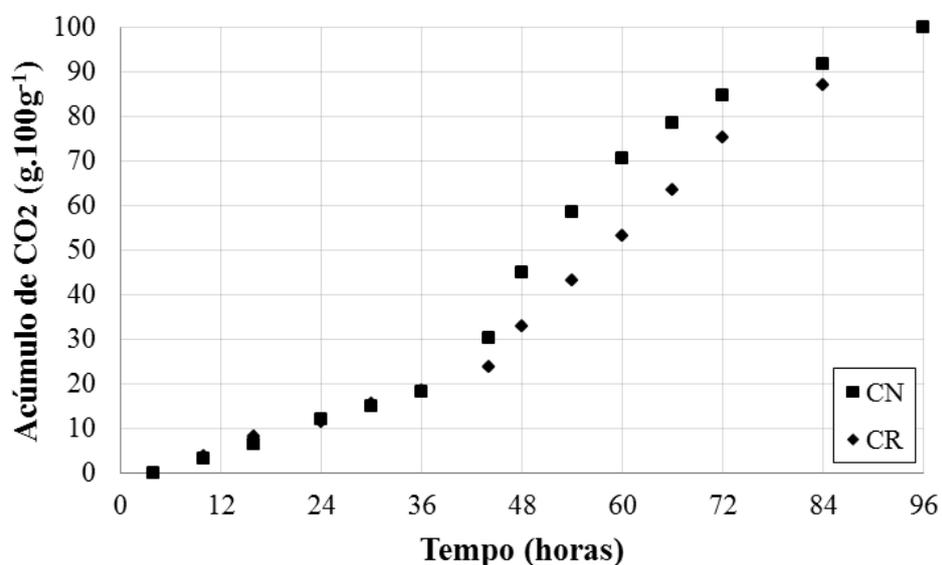


Figura 4. Total de CO<sub>2</sub> acumulado durante cultivo em estado sólido do *Myceliophthora thermophila* I-1D3b.

Os resultados da taxa de produção de CO<sub>2</sub> no cultivo CN seguiram o mesmo padrão apresentado por Rutsatz (2006), um rápido aumento inicial, atingindo o pico máximo próximo à metade da fase de crescimento, seguido de uma lenta redução. A produção total acumulada de CO<sub>2</sub> em 96 horas para CN foi de 246,61 kg<sub>CO2</sub> e para CR

foi de 207,14 kg<sub>CO2</sub>.

O método frequentemente usado para a quantificação da biomassa em CES é pela determinação de N-acetil-glicosamina (COURI et al., 2006), porém essa determinação não é satisfatória quando o meio de cultivo CR foi empregado, pois a reação decorrente do método de determinação de N-acetil-glicosamina possui a mesma coloração rosa do traçador.

#### 4 | CONCLUSÃO

O processamento digital de imagens pode ser usado para estimativa indireta de biomassa em cultivo em estado sólido, porém quando se empregam traçadores coloridos, para aumentar o contraste entre as biomassas fúngica e vegetal, ensaios específicos devem ser realizados para avaliar se há inibição do crescimento microbiano devido ao traçador. No presente estudo, a técnica de processamento digital de imagens não constatou influência no crescimento do fungo no substrato sem e com coloração por Rodamina B, enquanto que as concentrações de CO<sub>2</sub> observadas indicam que o corante pode interferir na atividade metabólica do microrganismo.

#### 5 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Apoio à Pesquisa e Extensão de São José do Rio Preto (FAPERP) pelo auxílio concedido (Processo nº 008/2019).

#### REFERÊNCIAS

- CASCIATORI, F. P. **Produção de celulases fúngicas por fermentação em estado sólido: ampliação de escala de biorreatores de leito fixo.** 190 f. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São José do Rio Preto, 2015.
- COURI, S. et al. Digital image processing as a tool to monitor biomass growth in *Aspergillus niger* 3T5B8 solid-state fermentation: preliminary results. **Journal of Microscopy**, v. 224, p. 290–297, 2006.
- GOMES, A. C. S. **Cinética de crescimento do fungo termófilo *Myceliophthora thermophila* M. 7.7 em cultivo no estado sólido.** 103 f. 2015. Dissertação (Mestrado em Microbiologia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São José do Rio Preto, 2015.
- GRAJALES-AGUDELO, L. M.; XAVIER, N. M.; HENRIQUE, J. P.; THOMÉO, J. C. Mixing and motion of rice particles in a rotating drum. **Powder Technology**, v. 222, p. 167 – 175, 2012.
- KOUTINAS, A. A.; WANG, R.; WEBB, C. Estimation of fungal growth in complex, heterogeneous culture. **Biochemical Engineering Journal**, v. 14, p. 93–100, 2003.
- PEREZ, C. L.; CASCIATORI, F. P.; THOMÉO, J. C. Strategies for scaling-up packed-bed bioreactors for solid-state fermentation : The case of cellulolytic enzymes production by a thermophilic fungus. **Chemical Engineering Journal**, v. 361, p. 1142-1151, 2019.

RUTSATZ, M. D. **Cultivo em estado sólido: modelagem e quantificação de biomassa em biorreator cilíndrico horizontal agitado**. 120 f. 2006. Dissertação (Mestrado em ENGENHARIA QUÍMICA) – UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Porto Alegre, 2006.

SOCCOL, C. R. et al. Recent developments and innovations in solid state fermentation. **Biotechnology Research and Innovation**, v. 1, p. 52–71, 2017.

TADA, E. F. R. et al. Mixture and motion of sugar cane bagasse in a rotating drum. **Powder Technology**, v. 317, p. 301–309, 2017.

THOMAS, L.; LARROCHE, C.; PANDEY, A Current developments in solid-state fermentation. **Biochemical Engineering Journal**, v. 81, p. 146–161, 2013.

WANG, L.; YANG, S-T. Solid State Fermentation and Its Applications. In: YANG, S-T. **Bioprocessing for Value-Added Products from Renewable Resources**, p. 465–489, 2007.

ZANELATO, A. I.; SHIOTA, V. M.; GOMES, E.; THOMÉO, J. C. Endoglucanase production with the newly isolated *Myceliophthora sp.* I-1D3b in a packed bed solid state fermentor. **Brazilian Journal Microbiology**, v. 43, p. 1536-1544, 2012.

## AVALIAÇÃO SENSORIAL DE DIFERENTES FORMULAÇÕES DE CUPCAKES COM FARINHA DE TARO (*Colocasia esculenta*) COMO ALTERNATIVA NO DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS PARA PORTADORES DE DOENÇA CELÍACA

### **Pedro Garcia Pereira da Silva**

Universidade Federal do Rio Grande – FURG,  
Escola de Química e Alimentos – EQA, Rio  
Grande – RS

### **Aline Rodrigues Pontes**

Universidade Federal da Grande Dourados  
– UFGD, Faculdade de Engenharia – FAEN,  
Dourados – MS

### **Gisele Fernanda Alves da Silva**

Universidade Federal do Rio Grande – FURG,  
Escola de Química e Alimentos – EQA, Rio  
Grande – RS

### **Marcello Lima Bertuci**

Universidade Estadual Paulista – Unesp,  
Departamento de Engenharia e Tecnologia de  
Alimentos – DETA, São José do Rio Preto – SP

### **Tuany Yuri Kuboyama Nogueira**

Universidade Estadual Paulista – Unesp,  
Departamento de Engenharia e Tecnologia de  
Alimentos – DETA, São José do Rio Preto – SP

**RESUMO:** A disponibilidade de alimentos industrializados sem a presença de glúten ainda é muito pequena no Brasil. Produtos com ausência ou baixa concentração de glúten costumam ser mais caros e de difícil acesso que os convencionais. Entretanto atualmente consegue-se obter produtos de panificação sem a necessidade de glúten. Sendo assim, o presente trabalho visa reformular a receita tradicional de cupcake, voltando-se para

peças com intolerância ao glúten (doença celíaca) e o aprimoramento da receita de cupcake utilizando-se da farinha de taro. Foram elaboradas cinco formulações de cupcakes (F1, F2, F3, F4 e F5) variando apenas as proporções de farinha de taro e de trigo, onde as formulações foram preparadas individualmente e analisados sensorialmente quanto aos parâmetros de aparência, sabor, aroma, textura e aceitação global, e os resultados submetidos à análise estatística. Inicialmente foi possível observar que as formulações dos cupcakes com farinha de taro apresentaram melhores resultados sendo constituída de 100% de farinha de taro rizoma, seguida da formulação em concentração mínima de farinha de trigo (25%). Conclui-se a partir dos resultados obtidos, a maior preferência dos provadores pela formulação F1(100% de farinha de taro), formulação que apresentou maior aceitação para todos os parâmetros analisados, seguido da F2 (25% trigo, 75% farinha de taro) sendo uma alternativa viável para portadores de doença celíaca.

**PALAVRAS-CHAVE:** Novos Produtos, formulações, glúten.

SENSORY EVALUATION OF DIFFERENT FORMULATIONS OF CUPCAKES WITH TARO FLOUR (*Colocasia esculenta*) AS

## AN ALTERNATIVE IN THE DEVELOPMENT OF NEW PRODUCTS FOR CELIAC DISEASE CARRIERS

**ABSTRACT:** The availability of processed foods without the presence of gluten is still very small in Brazil. Products with the absence and low incidence of gluten are more expensive and less accessible than conventional ones. Nowadays they can obtain bakery products without the need for gluten. Thus, the present aims to reformulate a traditional cupcake recipe, turning to people with gluten intolerance and enhancing cupcake recipe using taro rhizome flour. Five formulations of cupcakes were developed (F1, F2, F3, F4 and F5) varying only as proportions of taro flour and wheat. Where the formulations were prepared and evaluated for the parameters of appearance, taste, texture and overall acceptance, and the results submitted to statistical analysis. Initially, it was possible to observe that the cupcakes formulations with taro flour presented the best results being 100% of taro rhizome flour, followed by the formulation in a minimum concentration of wheat flour (25%). From the results obtained, the highest preference of the tasters for the formulation F1 (100% of taro flour), formulation that presented greater acceptance for all analyzed parameters, followed by F2 (25% wheat, 75% taro flour), being a alternative for celiac disease patients.

**KEYWORDS:** New Products, Formulations, Gluten.

### 1 | INTRODUÇÃO

A Doença Celíaca (DC) é uma doença imunomediada sistêmica, que afeta indivíduos geneticamente predispostos e é desencadeada pela ingestão de glúten, proteína de armazenamento presente principalmente no trigo. Entretanto celíacos possuem dificuldades de encontrar produtos isentos de glúten, por isso a necessidade de explorar o desenvolvimento de novos produtos que atendam essa demanda (HUSBY et al., 2012).

Comumente para o desenvolvimento de panificados é utilizada farinha de trigo que geralmente é o componente estrutural da massa, constitui o ingrediente fundamental para a obtenção do cupcake. Segundo Almeida (2011), a farinha de trigo possui proteínas (a gliadina e a gluteína), com características funcionais únicas capazes de formar rede de glúten. O glúten não é um componente que faz parte diretamente da formulação de produtos de panificação. O interesse do glúten nos processos de fabricação está basicamente na sua capacidade de dar extensibilidade e consistência à massa, além de reter o gás carbônico, proveniente da fermentação, provendo o aumento do volume, o que é desejável. No entanto existem outras farinhas que podem substituir a farinha de trigo, como a farinha de mandioca, de milho, de taro, entre outras.

A espécie *Colocasia esculenta* é uma planta pertencente à família *Araceae*, mundialmente denominada de taro, conhecida também como “inhame” no centro-sul

do país, sendo considerado uma importante cultura alimentar, pois seus rizomas são ricos em proteínas, vitaminas, minerais, ácidos orgânicos e uma excelente fonte de carboidratos. (VIDIGAL et al., 2016).

Sendo assim, o taro por suas características nutricionais, tem possibilidades de uso humano sob diferentes formas de preparo podendo ser utilizada em diversas áreas, como na indústria farmacêutica (ALALOR; AVBUNUDIOGBA; AUGUSTINE, 2014) e na de alimentos (TAVARES et al., 2011) na forma de farinha. No caso da indústria de alimentos pode ser utilizado em produtos de panificação, apresentando resultados nas características sensoriais tão bons quantos os pães a base de trigo e com boa aceitação pelo público (ANDRADE, 2016).

Diante disto, o objetivo deste trabalho visa avaliar a aceitação dos provadores na produção de cupcakes com a adição de farinha de taro em substituição a farinha de trigo convencional, voltando-se para a necessidade do desenvolvimento de novos produtos para pessoas com DC.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Matéria-prima

A matéria-prima utilizada foi o taro rizoma (*Colocasia esculenta*), cultivado na área do Horto de Plantas Medicinais, do Núcleo Experimental de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados-UFGD, e processada até a obtenção da farinha de taro rizoma no Laboratório de Tecnologia de Alimentos da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal da Grande Dourados-UFGD, para a sua utilização na formulação dos cupcakes.

### 2.2 Elaboração dos cupcakes

Para elaboração dos cupcakes foram utilizados farinha de trigo, farinha de taro rizoma, açúcar, margarina, ovos, leite, fermento químico em pó e sal. O produto foi desenvolvido partindo de uma formulação padrão de cupcakes adaptado de Carvalho et al (2012). Para todas as formulações foram mantidas a quantidade de 12 g de fermento em pó, 220 mL de leite, 4 ovos, 350 g de açúcar refinado, 220 g de margarina e 3 g de sal.

Foram elaboradas cinco formulações de cupcakes variando apenas as proporções de farinha de taro e de trigo, como apresentadas na Tabla 1.

Formulação de cupcakes	F1 (100%)	F2 (75%)	F3 (50%)	F4 (25%)	F5 (0%)
Farinha de trigo	0 g	87,5 g	175 g	262,5 g	350 g

<b>Farinha de taro rizoma</b>	350 g	262,5 g	175 g	87,5 g	0 g
-----------------------------------	-------	---------	-------	--------	-----

Tabela1. Formulação de cupcakes em relação a proporção de farinha de taro.

Inicialmente todos os ingredientes foram pesados, separadamente, em uma balança digital semi-analítica, Shimadzu®, e então as formulações foram preparadas individualmente. Para a elaboração dos produtos, inicialmente em uma batedeira comum, foram batidos os ovos, a margarina, o açúcar refinado, sal e o leite, por 3 minutos até formar um creme homogêneo, logo após foi adicionado farinha conforme a proporção pré-estabelecida para cada formulação e por último foi adicionado o fermento químico e homogeneizado até obter massa homogênea.

Com o auxílio de um saco de confeitar a massa foi disposta em forminhas de papel, com 5 cm de diâmetro, próprias para cupcake. Para garantir uma adequada cocção, os produtos foram dispostos em assadeiras de alumínio (40 x 30 cm). As formulações foram assadas em forno convencional (Consul®, Brasil), em forno pré-aquecido (30 minutos/200°C) por 50 minutos (200°C).

### 2.3 Avaliação sensorial

Na análise sensorial dos cupcakes foi utilizado o teste de aceitação, sendo a avaliação sensorial realizada em cabines individuais e com iluminação de cor branca. Participaram da pesquisa 60 provadores não treinados de ambos os sexos, com idade entre 18 e 60 anos, sendo consumidores em potencial de produtos como bolos e similares. Durante os testes sensoriais dos produtos, os atributos avaliados foram: aparência, sabor, aroma, textura e aceitação global.

Conforme descrito por Dutcosky (2011), os provadores avaliaram a aceitação das amostras através da escala hedônica estruturada de 9 pontos (1 = desgostei muitíssimo, 9 = gostei muitíssimo). Cada provador recebeu uma porção de cada amostra (aproximadamente 25 g), em pratos plásticos brancos, codificados com números de três dígitos, de forma balanceada e aleatória, acompanhados de um copo de água entre as amostras. As formulações foram oferecidas aos provadores de forma monádica e sequencial.

### 2.4 Análise Estatística

Os dados da análise sensorial foram avaliados através da análise de variância (ANOVA), utilizando-se o teste de comparação de média de Tukey, para comparação de médias, em nível de 5% de significância, com auxílio do software *Statistic*, versão 8.0.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos na análise sensorial das cinco formulações de cupcakes adicionados de farinha de taro e farinha de trigo são apresentados na Tabela 2. Os resultados são referentes aos parâmetros de aparência, sabor, aroma e textura, além da aceitação global. Vale lembrar que as formulações são baseadas nas concentrações da farinha de taro rizoma que se encontram nas proporções 100%, 75%, 50%, 25% e 0%, sendo identificadas como F1, F2, F3, F4 e F5, respectivamente.

Formulação	Parâmetros				
	Aparência (%)	Sabor (%)	Aroma (%)	Textura (%)	Aceitação global (%)
F1	80,33 <sup>a</sup>	85,23 <sup>a</sup>	80,33 <sup>a</sup>	80,82 <sup>a</sup>	80,33 <sup>a</sup>
F2	73,05 <sup>a</sup>	73,25 <sup>a</sup>	74,21 <sup>a</sup>	83,88 <sup>a</sup>	74,62 <sup>a</sup>
F3	69,42 <sup>a</sup>	65,24 <sup>b</sup>	68,51 <sup>b</sup>	71,07 <sup>bc</sup>	67,10 <sup>b</sup>
F4	70,24 <sup>a</sup>	57,69 <sup>bc</sup>	67,60 <sup>b</sup>	74,95 <sup>ac</sup>	62,64 <sup>bc</sup>
F5	69,08 <sup>a</sup>	50,25 <sup>c</sup>	63,22 <sup>b</sup>	63,14 <sup>bc</sup>	58,67 <sup>c</sup>

Tabela 2. Avaliação sensorial afetiva realizada para as formulações de cupcakes com farinha de taro e farinha de trigo.

Letras iguais sobrescritas na mesma coluna indicam que as médias não foram significativamente diferentes a um nível de confiança de 95% ( $p > 0,05$ ).

No atributo aparência, observa-se que a formulação F1 obteve a melhor nota, seguida de F2, F4, F3 e F5, respectivamente. Entretanto não foi observada diferença significativa ( $p > 0,05$ ) entre as formulações. Resultados similares ao presente estudo foram observados por Carvalho et al (2012), que verificaram, em seu estudo com elaboração de cupcakes adicionados de farinha de casca de banana, que os cupcakes com maiores concentrações de farinha de cascas de banana também foram mais aceitos no quesito aparência do que as demais formulações.

No atributo sabor, aroma e textura, o melhor índice de aceitação também foi obtido pela formulação F1, seguida de F2, não havendo diferença significativa entre as duas formulações, e que as demais diferem significativamente de F1 e F2 nos mesmos atributos avaliados.

No que se refere à aceitação global do produto foi observado que a F1 apresentou maior parâmetro de aceitação, seguida de F2, as duas formulações não apresentaram diferença significativa entre si, sendo que conforme descrito por Silva et al (2018) para que um produto seja considerado aceitável sensorialmente é necessário no mínimo 70% de aceitação em seus atributos, o que corresponde aos resultados encontrados na Tabela 2 nas formulações 1 e 2 em todos os atributos avaliados.

## 4 | CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos constatou-se a preferência dos provadores, de um modo geral, pelas formulações com maiores concentrações de farinha de taro, apresentando um declínio de preferência consecutivamente, conforme vai aumentando a concentração de farinha de trigo.

Sendo assim, conclui-se que a farinha de taro adicionada a formulações de cupcakes apresentam uma boa aceitação comparada à farinha de trigo convencional por características próprias dessa rica fonte de carboidratos, onde as formulações com maiores concentrações de farinha de taro são alternativas no desenvolvimento de novos produtos para portadores de doença celíaca.

## REFERÊNCIAS

- ALALOR, C. A.; AVBUNUDIOLGBA, J. A.; AUGUSTINE, K. **Isolation and characterization of mucilage obtained from *Colocasia esculenta***. International Journal of Pharmacy and Biological Sciences, v. 4, p. 25-29, 2014.
- ALMEIDA, O. P. **Pão de forma sem glúten a base de farinha de arroz**. Tese de Doutorado em Tecnologia de Alimentos – Faculdade de Engenharia de Alimentos. 289 f. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.
- ANDRADE, L. A. **Mucilagem do rizoma de taro: técnicas de extração e de caracterizações físicas e químicas**. 89f. 2016. Tese de Doutorado em Ciência dos Alimentos – Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos. Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, 2016.
- CARVALHO, K. H.; BOZATSKI, L. C.; SCORSIN, M.; NOVELLO, D.; PEREZ, E.; DALLA SANTA, H. S.; SCORSIN, G.; BATISTA, M.G. **Desenvolvimento de cupcake adicionado de farinha de casca de banana: características sensoriais e químicas**. Alimentos e Nutrição. Araraquara, SP, v. 23, n. 3, p. 475-81. 2012.
- DUTCOSKY, S. D. **Análise sensorial de alimentos**. 3. ed. Curitiba: Champagnat, 2011.
- HUSBY, S. S.; KOLETZKO, S.; KORPONAY-SZABO, I. R.; MEARIN, M. L.; PHILLIPS, A.; SHAMIR, R.; TRONCONE, R.; GIERSIEPEN, K.; BRANSKI, D.; CATASSI, C.; LELGEMAN, M.; ZIMMER, K. P. **European Society for Pediatric Gastroenterology, Hepatology, and Nutrition Guidelines for the Diagnosis of Coeliac Disease**. Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition, v. 54, n. 1, p. 136-160, 2012.
- SILVA, P. G. P.; PONTES, A. R.; SANTOS, L. G.; ZAGO, T. A. S.; CORTEZ-VEGA, W. R. **Composição proximal do resíduo de maracujá (*passiflora edulis*) e sua utilização na elaboração de geleia tipo extra e suas características físico-químicas e sensoriais**. In: XXVI Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Belém-PA, p. 1-6. 2018.
- TAVARES, S. A.; PEREIRA, J.; GUERREIRO, M. C.; PIMENTA, C. J.; PEREIRA, L.; MISSAGIA, S. V. **Caracterização físico-química da mucilagem de inhame liofilizada**. Ciência e Agrotecnologia, v. 35, p. 973-979. 2011.
- VIDIGAL, S. M.; LOPES, I. P. C.; PUIATTI, M.; SEDIYAMA, M.A. N.; RIBEIRO, M. R. F. **Yield performance of taro (*Colocasia esculenta* L.) cultivated with topdressing nitrogen rates at the Zona da Mata region of Minas Gerais**. Revista Ceres, v. 63 n.6, p. 887-892, 2016.

## OTIMIZAÇÃO DE FORMULAÇÃO DE BISCOITO TIPO COOKIE ISENTO DE GLÚTEN UTILIZANDO FARINHA DE ARROZ, TEFF E SORGO

### **Geovana Teixeira de Castro**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão – Paraná

### **Luiza Pelinson Tridapalli**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão - Paraná

### **Angélica Maria Delovo Fernandes**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão - Paraná

### **Flávia Aparecida Reitz Cardoso**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão - Paraná

### **Leila Larisa Medeiros Marques**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão - Paraná

### **Renata Hernandez Barros Fuchs**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão - Paraná

### **Adriana Aparecida Droval**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão - Paraná

### **Hellen Fernanda da Silva Paulino**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão - Paraná

### **Lucas de Souza Nespeca**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão - Paraná

### **Beatriz Musi Sarris Gomes Lourenço**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão - Paraná

### **Leonardo Vasconcelos Jacovassi**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão - Paraná

### **Pamela da Silva Souza**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão – Paraná

**RESUMO:** O objetivo desse trabalho foi desenvolver formulações de cookie utilizando farinhas de arroz, sorgo e teff, avaliar sua aceitação sensorial, intenção de compra e teor de fibras. Nove formulações foram submetidas ao teste de intenção de compra (escala de 5 pontos: 1- certamente compraria e 5- certamente não compraria) e de aceitação avaliando os atributos cor, odor, sabor, textura e impressão global, utilizando escala hedônica (9- gostei extremamente e 1- desgostei extremamente). Os resultados foram analisados por ANOVA e teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Com exceção do odor, todos os atributos diferiram entre si, sendo que a impressão global variou de 6,84 (apenas farinha de sorgo) à 7,82 (mistura das três farinhas) e a intenção de compras variou de 1,74 (farinhas de arroz e sorgo) à 2,52 (apenas farinha de sorgo). O maior teor de fibras foi encontrado na formulação contendo apenas farinha de teff (5,04%). A partir destes resultados otimizou-se uma formulação de cookie que apresentasse o maior teor de fibras, mas que também fosse

bem aceita. A quantidade de farinhas de arroz, sorgo e teff, indicadas pela otimização, foi de 16,7%, 35,8% e 47,5%, respectivamente. Verificou-se é possível produzir cookies isentos de glúten com bons índices de aceitação utilizando as farinhas de arroz, sorgo e teff.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sorgo; Teff; Farinha de arroz; Glúten; Cookie.

## OPTIMIZATION OF GLUTEN-FREE COOKIE FORMULATION USING RICE, TEFF AND SORGHUM FLOURS

**ABSTRACT:** The aim of this work was to develop cookie formulations using rice, sorghum and teff flours, and evaluate its sensory acceptance, purchase intention and fiber content. Nine formulations were submitted to the purchase intention test (5-point scale: 1- I would certainly buy and 5- I would certainly not buy) and acceptance evaluating the attributes color, odor, taste, texture and overall acceptance using hedonic scale (9- I liked it extremely and I disliked it extremely). The results were analyzed by ANOVA and Tukey test ( $p < 0.05$ ). With the exception of the odor, all attributes differed, with the overall acceptance varying from 6.84 (sorghum flour) to 7.82 (mixture of the three flours) and the purchase intention ranged from 1.74 (rice and sorghum) to 2.52 (sorghum flour). The highest fiber content was found in the formulation containing only teff flour (5.04%). From these results, it was possible to optimize a formulation of cookie that would present the higher fiber content and was well accepted. The amount of rice, sorghum and teff flour indicated by the optimization was 16.7%, 35.8% and 47.5%, respectively. It has been found that it is possible to produce gluten-free cookies with good acceptance rates using rice, sorghum and teff flour.

**KEYWORDS:** Sorghum; Teff; Rice Flour; Gluten; Cookie.

## 1 | INTRODUÇÃO

O glúten é um complexo proteico encontrado no endosperma de grãos de cereais, como trigo, cevada, centeio e híbridos cruzados. Suas propriedades são determinantes da densidade da massa, influenciando diretamente na textura dos produtos, sendo comumente utilizado como reforçador de massa, espessante e agente de texturização em muitos alimentos (RALLABHANDI, 2012). O glúten do trigo apresenta uma propriedade única para manter o dióxido de carbono produzido durante a fermentação, fazendo com que sua farinha seja o ingrediente majoritário de muitos produtos de panificação. Entretanto, os peptídeos liberados pelo glúten durante a digestão são nocivos aos portadores de doença celíaca (DC), uma doença digestiva comum que afeta em torno de 1% da população mundial e cujo tratamento consiste basicamente consiste na eliminação do glúten da dieta (PETER; GREEN; CHRISTOPHE CELLIER, 2007; SINGH et al., 2018).

Segundo Rallabhandi (2012), indivíduos não celíacos ingerem, em média,

0,02 kg de glúten por dia. Essa quantia ilustra como esta proteína se faz presente no dia-a-dia da população. Levando em consideração que é ampla a incidência da DC, fica evidente a importância do desenvolvimento de produtos livres de glúten (YANO, 2010;MAZZEO, 2014). Dessa forma, a aplicação de análise sensorial no desenvolvimento desses produtos é indispensável. Rizzello, Montemurro e Gobetti (2016) dizem que as características sensoriais e aceitação dos alimentos livres de glúten deve ser o mais semelhante possível aos produtos convencionais.

O arroz é considerado um substituto adequado para o trigo e provoca menos reações alérgicas, por este motivo, testes têm sido feitos para que se consiga produzir produtos livres de glúten à base de farinha de arroz (YANO, 2010). No entanto, quando comparada com a farinha de trigo, a farinha de arroz se apresenta inferior nutricionalmente (HAGER et al., 2012).

Para melhorar o valor nutritivo de alimentos sem glúten, faz-se necessário utilizar outros tipos de farinhas, como as farinhas de sorgo e de teff. Com origem africana, o sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) é um cereal que oferece altos níveis de minerais e compostos fenólicos (LIU, 2011). O teff (*Eragrostis tef*), cereal originário da Etiópia, também é rico em minerais, principalmente ferro e aminoácidos essenciais (HAGER et al, 2012; PROIETTI, 2013; ZHU, 2018).

O objetivo desta pesquisa foi desenvolver formulações de biscoitos tipo cookie isentos de glúten, utilizando farinhas de sorgo, teff e arroz, e avaliar a aceitação sensorial, intenção de compras e teor de fibras.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Matéria Prima

A farinha de arroz (Terra Verde), teff (Giroil) e sorgo (Farovitta), assim como o açúcar refinado, a margarina (60% de lipídios), os ovos, o cacau em pó e fermento químico foram obtidos no comércio local (Campo Mourão, PR), no mês de novembro de 2017.

### 2.2 Desenvolvimento das formulações

Nove formulações de cookie foram preparadas com diferentes quantidades de farinhas de sorgo, teff e arroz, propostas por delineamento experimental. As quantidades de açúcar (25%), margarina (18,75%), ovo (12,5%), cacau (5%) e fermento em pó (1,25%), assim como o teor total de farinha (37,5%) nas formulações era constante. Para o planejamento da mistura foi empregado um delineamento fatorial completo Simplex Lattice com três pontos internos e centróide global composto por três variáveis independentes (farinhas de arroz, sorgo e teff), totalizando 9 experimentos (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 1996), sendo três repetições no ponto central (F7, F8 e

F9), apresentado na Tabela 1.

Formulações	Farinha de arroz	Farinha de sorgo	Farinha de teff
F1	1	0	0
F2	0	1	0
F3	0	0	1
F4	1/2	1/2	0
F5	1/2	0	1/2
F6	0	1/2	1/2
F7	1/3	1/3	1/3
F8	1/3	1/3	1/3
F9	1/3	1/3	1/3

Tabela 1. Valores absolutos de farinhas de arroz, sorgo e teff nas formulações de cookies.

F1: 100% arroz; F2: 100% sorgo; F3: 100% teff; F4: 50% arroz + 50% sorgo; F5: 50% arroz + 50% teff; F6: 50% sorgo + 50% teff; F7, F8 e F9: 33,3% de cada farinha.

### 2.3 Determinação do teor de fibras

O teor de fibras foi calculado de forma indireta. Utilizou-se o teor de fibras de cada matéria-prima fornecida pela base de dados de composição de alimentos do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2018). A partir desses valores e da quantidade de cada ingrediente presente nas formulações, calculou-se o teor de fibras dos produtos. Para expressão do resultado final, descontou-se o teor de umidade de cada produto (que variou de 1,02 a 3,79%), obtendo-se o teor de fibra em base seca.

### 2.4 Preparo das formulações

Homogeneizou-se manualmente o açúcar e a manteiga. Acrescentou-se o restante dos ingredientes e misturou-se até a obtenção de uma massa homogênea e consistente. A massa (0,017 kg) foi colocada dentro de forma de silicone de 4 cm de diâmetro e pressionada com uma colher de maneira que sua superfície ficasse o mais uniforme o possível. Os cookies foram assados durante 12 minutos a 453,15 K.

### 2.5 Análise Sensorial

As amostras de cookies foram avaliadas por meio de testes de aceitação e intenção de compra (MEILGAARD; CIVILLE; CARR, 1999), com 50 provadores. Foram avaliadas a aceitação dos atributos cor, odor, sabor, textura e impressão global; utilizando escala hedônica de 9 pontos (9 = gostei extremamente, 1 = desgostei extremamente). Com relação à intenção de compra utilizou-se uma escala de 5 pontos (1=certamente não compraria, 5=certamente compraria)

A análise sensorial aconteceu em três sessões, sendo que em cada uma delas o provador recebeu uma formulação referente ao ponto central (F7, F8 ou F9) e mais duas outras amostras. Os cookies foram servidos em ordem aleatória, monádica e

sequencial, em pratos plásticos e orientou-se aos provadores que tomassem água mineral, antes de provar cada amostra. Os testes foram realizados em cabines individuais do laboratório de análise sensorial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) - câmpus Campo Mourão.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados do teste de aceitação para os atributos sensoriais avaliados nas nove formulações de cookie estão apresentados na Tabela 2.

Formulação	Cor	Odor	Sabor	Textura	Impressão Global
F1	7.82 <sup>ab</sup> ±0.88	7.39 <sup>a</sup> ±1.27	7.63 <sup>ab</sup> ±1.15	7.39 <sup>ab</sup> ±1.57	7.65 <sup>abc</sup> ±0.86
F2	7.49 <sup>b</sup> ±1.26	7.10 <sup>a</sup> ±1.25	6.63 <sup>c</sup> ±1.54	6.39 <sup>c</sup> ±1.78	6.84 <sup>d</sup> ±1.34
F3	8.20 <sup>a</sup> ±0.89	6.94 <sup>a</sup> ±1.41	7.12 <sup>abc</sup> ±1.49	7.35 <sup>abc</sup> ±1.42	7.41 <sup>abcd</sup> ±1.15
F4	7.78 <sup>ab</sup> ±0.98	7.59 <sup>a</sup> ±1.02	7.88 <sup>a</sup> ±0.90	7.80 <sup>a</sup> ±1.14	7.77 <sup>ab</sup> ±0.82
F5	7.96 <sup>ab</sup> ±1.08	6.94 <sup>a</sup> ±1.41	7.00 <sup>ac</sup> ±1.74	6.63 <sup>bc</sup> ±1.92	7.04 <sup>cd</sup> ±1.58
F6	8.31 <sup>a</sup> ±0.68	7.41 <sup>a</sup> ±1.29	7.08 <sup>abc</sup> ±1.73	6.49 <sup>bc</sup> ±1.72	7.14 <sup>bcd</sup> ±1.24
F7	8.18 <sup>a</sup> ±1.01	7.41 <sup>a</sup> ±1.14	7.43 <sup>abc</sup> ±1.21	6.96 <sup>abc</sup> ±1.27	7.39 <sup>abcd</sup> ±0.95
F8	7.86 <sup>ab</sup> ±1.17	7.16 <sup>a</sup> ±1.45	7.14 <sup>abc</sup> ±1.74	6.63 <sup>bc</sup> ±1.52	7.16 <sup>abcd</sup> ±1.39
F9	8.27 <sup>a</sup> ±0.73	7.45 <sup>a</sup> ±1.04	7.67 <sup>ab</sup> ±1.18	7.63 <sup>a</sup> ±1.27	7.82 <sup>a</sup> ±0.78

Tabela 2 - Médias e desvios padrões dos atributos sensoriais das formulações de cookie.

Médias na mesma coluna, seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). F1: 100% arroz; F2: 100% sorgo; F3: 100% teff; F4: 50% arroz + 50% sorgo; F5: 50% arroz + 50% teff; F6: 50% sorgo + 50% teff; F7, F8 e F9: 33,3% de cada farinha.

Analisando a Tabela 2, observa-se que o único atributo que não apresentou diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as amostras foi o odor. Com relação à aceitação da cor, os valores variaram de 7,49 a 8,31, sendo que as amostras F3, F6, F7 e F9 (todas contendo farinha de teff, em alguma concentração) foram mais aceitas que F2 (100% sorgo), indicando que a presença de teff pode melhorar a aceitação da cor dos cookies. Aceitação do sabor variou de 6,63 (F2) a 7,88 (F4) e da textura variou de 6,39 (F2) a 7,80 (F4), sugerindo que a utilização de 100% de sorgo nas formulações não tem um impacto positivo nesses atributos. No entanto, à medida que se mistura farinha de sorgo com farinha de arroz em partes iguais, têm-se os maiores valores de aceitação desses dois atributos.

A impressão global, que reflete uma avaliação geral sobre o produto, variou de 7,82 (F9) que aproxima-se do termo hedônico “gostei muito” a 6,84 (F2), que equivalente ao termo “gostei moderadamente”. Analisando a composição dessas formulações, tem-se que F9 é composta pela mistura ternária das farinhas, enquanto a de menor aceitação global, F2, apresenta 100% de farinha de sorgo, demonstrando mais uma vez o efeito negativo do uso isolado desta farinha nos atributos sensoriais de cookie, porém o efeito positivo que a farinha de sorgo apresenta quando em mistura

com as farinhas de arroz e teff.

O gráfico de contorno de superfície de resposta, apresentado na Figura 1, demonstra um aumento da impressão global dos cookies à medida em que se aumenta o teor de farinha de arroz na formulação. Pode-se observar uma tendência à diminuição da aceitação global dos produtos à medida que se aproxima das formulações contendo 100% de farinha de teff e de sorgo, sendo que esta última teria aceitação menor.

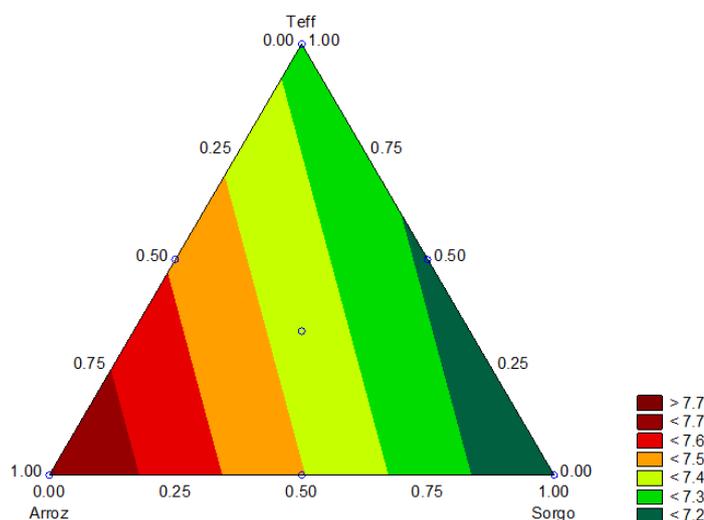


Figura 1. Gráfico de superfície de resposta do atributo impressão global.

Para obter a formulação otimizada, determinou-se o teor de fibras e a intenção de compra dos produtos, sendo que esses dados estão apresentados na Tabela 3. Pode-se verificar que a formulação F4 (composta por sorgo e arroz) apresentou a maior intenção de compra. A menor intenção de compra foi verificada na amostra F2 (composta por 100% farinha de sorgo). Esses dados corroboram os resultados obtidos no teste de aceitação.

Os resultados obtidos para o teor de fibras demonstram que F3 (100% farinha de teff) apresentou maior valor. Esse resultado era esperado já que, entre as farinhas estudadas, a farinha de teff é a mais rica em fibras.

Formulação	Intenção de compra	Fibras (%)
F1	1.86 <sup>bc</sup> ±0.83	2,55
F2	2.52 <sup>a</sup> ±1.07	4,13
F3	2.08 <sup>abc</sup> ±1.03	5,04
F4	1.74 <sup>c</sup> ±0.78	3,35
F5	2.20 <sup>abc</sup> ±1.12	3,79
F6	2.20 <sup>abc</sup> ±0.83	4,59
F7	1.80 <sup>bc</sup> ±0.78	3,90
F8	2.08 <sup>abc</sup> ±0.80	3,90
F9	2.32 <sup>ab</sup> ±1.06	3,90

Tabela 3- Intenção de compra para os cookies isentos de glúten

1 certamente compraria; 2 possivelmente compraria; 3 talvez compraria/talvez não compraria; 4 possivelmente não compraria; 5 certamente não compraria. F1: 100% arroz; F2: 100% sorgo; F3: 100% teff; F4: 50% arroz + 50% sorgo; F5: 50% arroz + 50% teff; F6: 50% sorgo + 50% teff; F7, F8 e F9: 33,3% de cada farinha.

Os modelos ajustados e os correspondentes parâmetros estatísticos de qualidade obtidos dos dados experimentais das Tabelas 2 e 3 (teor de fibras) estão apresentados na Tabela 4. O valor de  $R^2$  do modelo de um atributo deve ser muito próximo de 1 para que o mesmo seja significativo em uma otimização, valores maiores que 0, 60 já são considerados aceitáveis. Os coeficientes do modelo de cor indicam que as formulações de cookies contendo farinha de teff apresentaram maior aceitação para este atributo. Os coeficientes dos modelos de odor, sabor, textura e impressão global indicaram que as formulações de cookies contendo farinha de arroz apresentaram maior aceitação para tais atributos, e o modelo de fibras mostrou que a presença da farinha de teff nas formulações aumenta o teor das mesmas.

Parâmetros	Equação	$R^2$
Cor	$7,82A + 7,49S + 8,20T$	0,85
Odor	$7,39A + 7,10S + 6,94T$	0,89
Sabor	$7,63A + 6,63S + 7,12T$	0,89
Textura	$7,39A + 6,39S + 7,35T$	0,77
Impressão global	$7,65A + 6,84S + 7,41T$	0,76
Fibras	$2,60A + 4,27S + 5,25T$	0,99

Tabela 4. Modelos estatísticos obtidos para propriedades de mistura de farinhas para cookies  
A: farinha de arroz; S: farinha de sorgo; T: farinha de teff

Apenas os modelos de impressão global e de fibras foram utilizados na etapa de otimização. Com base nesses modelos, aplicou-se a função desejabilidade para obter a proporção ótima das farinhas de arroz, teff e sorgo, conforme se observa na Figura 2.

A função desejabilidade representa as desejabilidades individuais e global dos dados experimentais com suas variações mínimas e máximas, que representa as porcentagens individuais da mistura de farinhas para que se obtenha uma formulação ótima. Segundo esta função, a formulação otimizada teria uma impressão global estimada de 7,30 e um teor de fibras de 4,47%, estes valores podem ser observados nas linhas azuis horizontais do gráfico. A otimização da formulação buscou alcançar a maior quantidade de fibras e a melhor impressão global misturando-se as três farinhas. Para tanto, seria necessário então uma formulação com 16,7% de farinha de arroz, 35,8% de farinha de sorgo e 47,5% de farinha de teff. O ponto ótimo de cada farinha pode ser observado através de linhas verticais vermelhas e tracejadas. Com estas proporções, a função estima um valor de desejabilidade global de 0,58014 (58,014%).

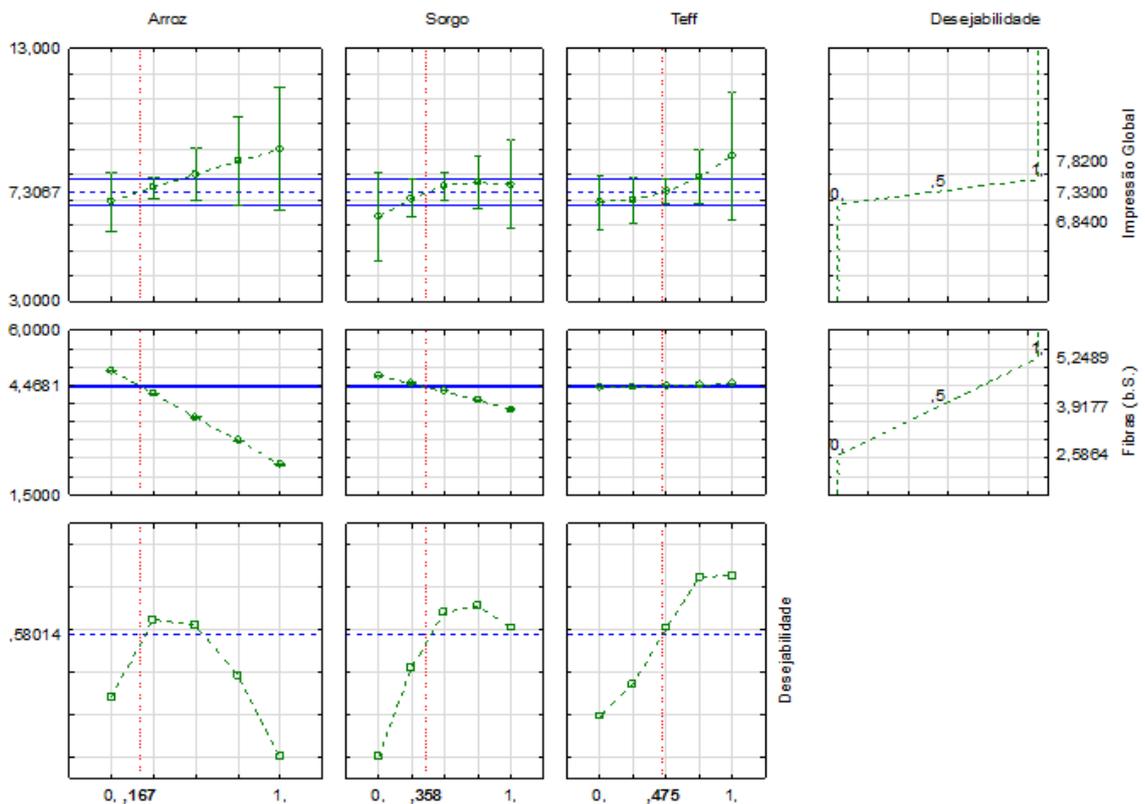


Figura 2. Gráfico desejabilidade para a mistura de farinhas.

## 4 | CONCLUSÃO

A aplicação de farinhas de arroz, sorgo e teff é viável para o desenvolvimento de biscoito tipo cookie isento de glúten, contribuindo para a obtenção de produtos com elevada aceitação, intenção de compra e teor de fibras. O aumento da quantidade de farinha de teff na formulação proporciona maior teor de fibras, enquanto o aumento da quantidade da farinha de arroz proporciona maior aceitabilidade. A farinha de arroz, no entanto, tem menor valor nutricional que as farinhas de sorgo e teff, sendo assim, chegou-se a uma formulação otimizada na qual a mistura das três farinhas oferece o melhor resultado possível quando se espera maior teor de fibras juntamente com maior aceitabilidade.

## REFERÊNCIAS

- BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I.S.; BRUNS, R.E. **Planejamento e otimização de experimentos**. 2ª ed. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 1996, 299p.
- HAGER, A. et al. **Nutritional properties and ultra structure of commercial gluten free flours from different botanical sources compared to wheat flours**. *Journal of Cereal Science*, v. 56, n. 2, p. 239-247, 2012.
- LIU, M. X. et al. **Phenolic Compounds from Chinese Sudangrass, Sorghum, Sorghum–Sudangrass Hybrid, and Their Antioxidant Properties**. *Crop Science*, v. 51, p. 247-258, 2011.
- MAZZEO, T. et al. **The development of a composition database of gluten-free products**. University of Parma, Parma – Italy, 2014.

MEILGAARD, M.; CIVILLE, G. V.; CARR, B. T. **Sensory evaluation techniques**. 3. ed. New York: CRC, 1999. 281 p.

PETER, H. R.; GREEN, M. D.; CHRISTOPHE CELLIER, M. D. **Celiac Disease**. The New England Journal of Medicine, v. 357, p. 1731-1743, 2007.

PROIETTI, I. et al. **Modulation of chelating factors, trace minerals and their estimated bioavailability in Italian and African sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) porridges**. International Journal of Food Science and Technology, v. 48, p1526-1532, 2013.

RALLABHANDI, P. **Gluten and Celiac Disease-An Immunological Perspective**. Journal of AOAC International, v. 95, n. 2, p. 349-355, 2012.

RIZZELLO, C. G.; MONTEMURRO, M; GOBBETTI, M. **Characterization of the Bread Made with Durum Wheat Semolina Rendered Gluten Free by Sourdough Biotechnology in Comparison with Commercial Gluten-Free Products**. Journal of Food Science, v. 81, n. 9, p. 2263-2272, 2016.

SINGH, P. et al. **Global Prevalence of Celiac Disease: Systematic Review and Meta-analysis**. Clinical Gastroenterology and Hepatology, v. 16, n. 6, p. 789-792, 2018.

USDA. (United States Department of Agriculture) **National Nutrient Database for Standard Reference**. Disponível em: <http://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/list>. Acesso em 15 de abril de 2018.

YANO, H. **Improvements in the Bread-Making Quality of Gluten-Free Rice Batter by Glutathione**. Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 58, p. 7949-7954, 2010.

ZHU, F. **Chemical composition and food uses of teff (*Eragrostis tef*)**. Food Chemistry, v. 239, p. 402-415, 2018.

## AVALIAÇÃO SENSORIAL DE TRÊS MARCAS DE BACON COMERCIAL

### **Bruna Grassetti Fonseca**

Universidade Estadual Paulista, Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos, São José do Rio Preto - SP

### **Bianca Guimarães**

Universidade Estadual Paulista, Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos, São José do Rio Preto - SP

### **Maria Julia Neves Martins**

Universidade Estadual Paulista, Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos, São José do Rio Preto - SP

### **Ana Carolina Conti e Silva**

Universidade Estadual Paulista, Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos, São José do Rio Preto - SP

através das escalas: hedônica em relação a um conjunto de atributos como cor, sabor, textura, intensidade de sal e aceitação global; e do ideal em relação à intensidade de sal, e também, comparar a aceitação com o teor de sódio descrito na rotulagem. Os resultados obtidos mostraram que as três marcas não se diferiram estatisticamente na avaliação, no entanto a marca A se destacou na frequência de respostas em todos os atributos, e também, quanto à intensidade ideal de sal. Em comparação ao teor de sódio, as três marcas são semelhantes, sendo que A possui o teor um pouco mais elevado.

**PALAVRAS-CHAVE:** avaliação sensorial, teste de aceitação, bacon.

**RESUMO:** Com as recentes demandas para o aumento de produção, aliadas a estratégias de diferenciação de produtos, têm-se observado crescimento pronunciado de produtos industrializados derivados de suínos. No mercado interno o consumo de carne suína ocorre através de produtos industrializados, embutidos e defumados, como o bacon, produto do abate suíno que apresenta sabor e características diferenciadas oriundas das operações de cura e defumação. Assim, o objetivo do trabalho é avaliar a aceitação de três marcas de bacon comercial (A, B e C)

### SENSORY EVALUATION OF THREE MARKS OF COMMERCIAL BACON

**ABSTRACT:** With the recent demands for increased production, coupled with product differentiation strategies, there has been a marked increase in processed products derived from pigs. In the domestic market, the consumption of pork occurs through processed and smoked products such as bacon, a product of swine slaughter that has different flavor and characteristics from curing and smoking. Thus, the objective of this work is to evaluate the

acceptance of three brands of commercial bacon (A, B and C) through the scales: hedonic in relation to a set of attributes such as color, taste, texture, salt intensity and global acceptance; and of the ideal in relation to the salt intensity, and also, to compare the acceptance with the sodium content described in the labeling. The results showed that the three marks did not differ statistically in the evaluation, however the mark A stood out in the frequency of answers in all the attributes, and also in the ideal salt intensity. In comparison to the sodium content, the three brands are similar, with A having a slightly higher content.

**KEYWORDS:** sensory evaluation, acceptance test, bacon

## 1 | INTRODUÇÃO

O consumo de produtos industrializados no Brasil tem aumentado ao longo das últimas três décadas em todas as classes socioeconômicas, indicando com isso uma mudança no padrão de consumo da população e, conseqüentemente, uma elevação na ingestão de componentes como o sódio (MONTEIRO et al, 2010). Dentro da categoria de alimentos processados, os produtos cárneos fazem parte daqueles que mais contribuem com o teor de sódio (WEISS et al, 2010).

Os produtos cárneos processados têm sido citados com frequência com relação ao teor de sódio na dieta, contribuindo com aproximadamente 20,8% da ingestão, o que corresponde a 0,54g de sódio ou a 1,38g de sal por dia (PHILLIPS, 2003). A FSA (Food Standards Agency) e o IOM (Institute of Medicine) recomendam que a ingestão de sódio não seja superior a 2,4g (equivalente a 6g de sal).

O bacon é um produto cárneo de origem suína que apresenta sabor e características diferenciadas oriundas das operações de cura e defumação (SILVA, 2009). De acordo com Bedale et al. (2016) o bacon é um produto muito aceito pelos consumidores ao redor do mundo e suas vendas crescem 10% ao ano.

Assim, o aumento da concorrência, as novas oportunidades estimuladas pelo livre comércio e expansão dos mercados aceleraram consideravelmente a exigência mundial da indústria de alimentos para novos produtos. Para tanto, estudar a aceitação de produtos alimentícios pelos consumidores tem sido benéfica em vários aspectos e serve como um mecanismo adicional para avaliação sensorial, visando estabelecer-se como fonte de informação (SIDEL; STONE, 1993).

A escala hedônica constitui a forma mais utilizada em pesquisas de aceitação por estar diretamente relacionada com o estado psicológico consciente de: agradável e desagradável e gostar ou desgostar de um alimento. (LAND; SHEPHERD, 1988). Já a escala-do-ideal é o método afetivo mais aplicado, tanto devido à confiabilidade e validade de seus resultados como à simplicidade em ser utilizada pela equipe. (VICKERS, 1988).

A importância em avaliar a percepção da salinidade e a intensidade do sabor característico em produtos cárneos é alta, pois o sal desempenha diversos papéis

importantes e não pode ser removido sem a consideração cuidadosa das consequências (RUUSUNE; POULANNE, 2004).

Portanto, o objetivo do trabalho é avaliar a aceitação de três marcas de bacon comercial (A, B e C), através das escalas: hedônica em relação a um conjunto de atributos como cor, sabor, textura, intensidade de sal e aceitação global; e do ideal em relação a intensidade de sal, e também, comparar a aceitação com o teor de sódio descrito na rotulagem.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

Foram avaliados três marcas de bacon tipo especial adquiridos no comércio local, e utilizados para a análise guardanapos de papel, copos descartáveis de 200ml, frigideira antiaderente, espátula e papel alumínio.

Inicialmente, as fatias de bacon foram fritas em frigideira antiaderente sem óleo, armazenadas em papel alumínio demarcadas da seguinte maneira: Amostra A, Amostra B e Amostra C. Foram seis possibilidades de aleatorização ABC, BCA, CAB, ACB, BAC, CBA.

Foi aplicado um teste sensorial afetivo de aceitação com 55 julgadores não treinados, utilizando escala hedônica estruturada de nove pontos para os atributos: cor, sabor, textura, intensidade de sal e aceitação global, e também, a escala do ideal para intensidade de sal. Ambas as escalas foram compostas por nove categorias, a hedônica variando de “1- desgostei extremamente” a “9- gostei extremamente” e a do ideal entre “extremamente menos salgado que o ideal” a “extremamente mais salgado que o ideal”.

As amostras foram apresentadas na ordem da aleatorização de maneira monádica sequencial, codificados com três dígitos aleatórios. A quantidade servida foi padronizada em, aproximadamente, 10g por amostra à 30°C. O teste foi conduzido em cabines individuais, sob luz branca, nos períodos da manhã e tarde, no Laboratório de Análise Sensorial da Unesp, campus São José do Rio Preto.

Os resultados da avaliação sensorial foram analisados por meio de gráficos de distribuição de frequência das respostas por meio do Excel® e através do software Statistica 12.0 (ANOVA fator duplo  $\alpha=0,05$  e correlações). Para a determinação da concentração de sal, visando obter o “salgado ideal” para bacon, as nove categorias foram transformadas em escala numérica (1 = extremamente menos salgado que o ideal, 5 = salgado ideal, 9 = extremamente mais salgado que o ideal).

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dos cinquenta e cinco julgadores participantes, 58% pertenciam ao sexo feminino e 42% ao sexo masculino. A faixa etária variou dos 18 aos 62 anos, desses 98% eram não fumantes e 2% fumantes.

Avaliou-se, também, o quanto esses julgadores gostam de bacon onde obteve-se que 82% gostam muito de bacon, 14 % gostam pouco, 2% são indiferentes, 2% desgostam pouco e nenhum desgosta muito.

Quanto à frequência de consumo, 49% consomem uma vez a cada quinze dias, 27% consomem uma vez por semana, 22 % de duas a três vezes na semana e 2 % quatro vezes ou mais por semana.

A partir dos resultados obtidos na avaliação sensorial foi realizada a ANOVA, na qual se verificou que não houve diferença significativa entre as amostras ( $P < 0,05$ ).

A frequência de distribuição das respostas foi realizada para todos os atributos: cor, sabor, textura, intensidade de sal e aceitação global. Para os atributos cor, sabor e textura a marca A se sobressai com frequência de 87%, 87% e 89% respectivamente. A marca B obteve a distribuição de 86% para cor, 77% para sabor e 75% para textura. Já a C teve 83%, 84%, 75% para os mesmos atributos, respectivamente.

Como o intuito é avaliar e comparar a intensidade de sal, na figura 1 é apresentado à distribuição de frequência para a intensidade de sal no teste sensorial aplicado, observa-se que a marca C se destaca com 79% da frequência de resposta, seguida da marca A com 76% e B com 68%, a partir do valor hedônico gostei levemente até gostei extremamente.

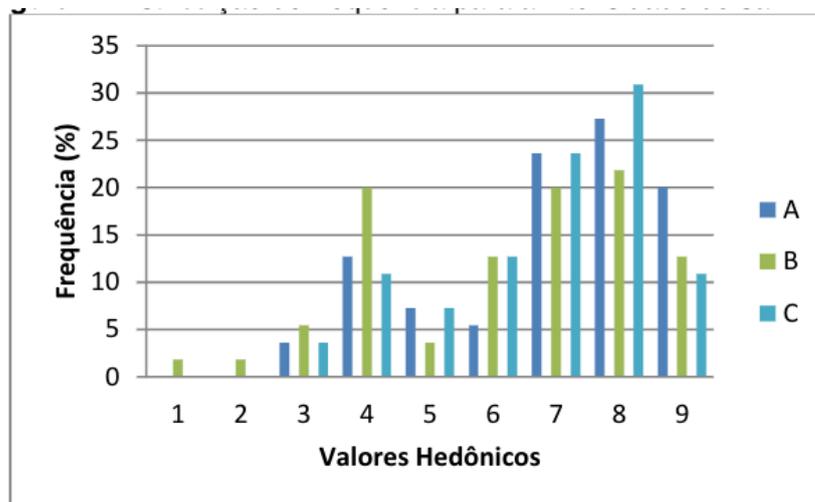


Figura 1. Distribuição de frequência para a intensidade do sal

A figura 2 mostra a frequência de respostas para aceitação global das marcas a partir do valor hedônico gostei levemente até gostei extremamente, conforme se observa a marca A se destaca com 91% das respostas, seguida da marca C com 82% e B 77%.

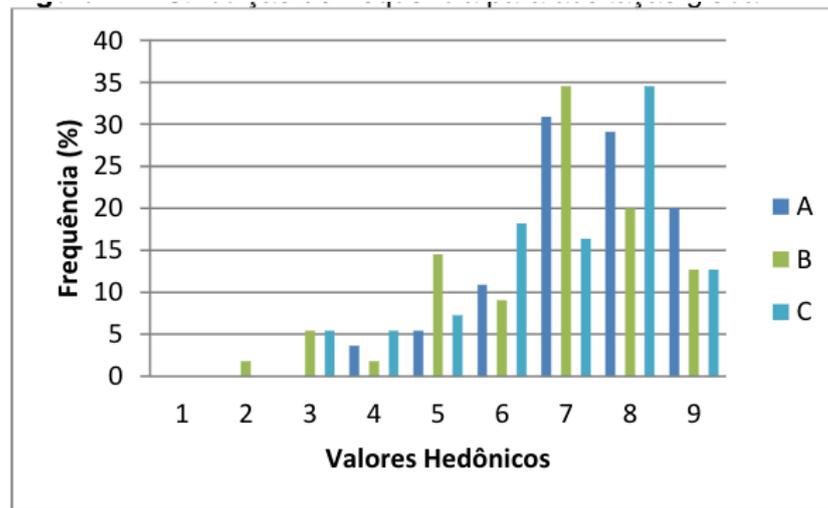


Figura 2. Distribuição de frequência para aceitação global

A tabela 1 mostra a correlação entre os atributos avaliados: cor, sabor, textura, intensidade de sal e aceitação global para a marca A, nota-se que há uma correlação forte entre cor e sabor, cor e aceitação global, sabor e aceitação global e intensidade de sal e aceitação global.

Variáveis	Cor	Sabor	Textura	Int. Sal	Ac. Global
Cor	1,00	0,72*	0,15	0,41	0,73*
Sabor	0,72*	1,00	0,21	0,41	0,81*
Textura	0,15	0,21	1,00	0,34	0,35
Int. Sal	0,41	0,41	0,34	1,00	0,71*
Ac. Global	0,73*	0,81*	0,35	0,71*	1,00

Tabela 1. Correlação entre os atributos da marca A.

A correlação entre os atributos da marca B pode ser visualizada na tabela 2, na qual se percebe uma correlação forte entre sabor e textura, sabor e aceitação global e textura e aceitação global.

Variáveis	Cor	Sabor	Textura	Int. Sal	Ac. Global
Cor	1,00	0,54	0,55	0,39	0,68
Sabor	0,54	1,00	0,70*	0,45	0,81*
Textura	0,55	0,70*	1,00	0,37	0,82*
Int. Sal	0,39	0,45	0,37	1,00	0,61
Ac. Global	0,68	0,81*	0,82*	0,61	1,00

Tabela 2. Correlação entre os atributos da marca B.

Na tabela 3 pode-se verificar a correlação entre os atributos da marca C, onde há uma forte correlação entre sabor e textura, sabor e intensidade de sal, sabor e aceitação global, textura e aceitação global e intensidade de sal e aceitação global.

Variáveis	Cor	Sabor	Textura	Int. Sal	Ac. Global
Cor	1,00	0,66	0,55	0,44	0,64
Sabor	0,66	1,00	0,72*	0,71*	0,87*
Textura	0,55	0,72*	1,00	0,57	0,86*
Int. Sal	0,44	0,71*	0,57	1,00	0,77*
Ac. Global	0,64	0,87*	0,86*	0,77*	1,00

Tabela 3. Correlação entre os atributos da marca C.

No teste de escala do ideal representado na figura 3, 37% dos julgadores consideraram “sabor salgado ideal” a marca A, seguida da C com 34% e B 32%. Apesar da frequência das respostas não chegar a 70% em nenhuma das marcas, o destaque da preferência em sabor salgado ideal é da marca A.

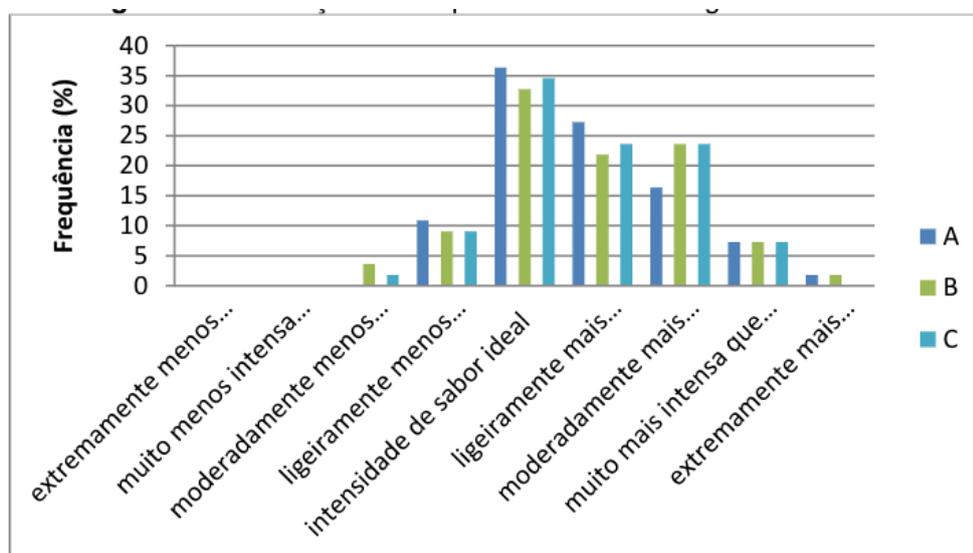


Figura 3. Distribuição da frequência de sabor salgado ideal

Na tabela 4 encontra-se descrito o teor de sódio identificado na rotulagem nutricional das embalagens dos bacons A, B e C.

Marcas	Teor de Sódio (mg) (Porção 10g)	% (*)
A	192	8

B	125	5
C	112	5

Tabela 4. Teor de sódio do bacon

(\*) Porcentagem baseada no valor diário recomendado de ingestão de sódio.

De acordo com a tabela, a marca A apresenta o maior teor sódio, conseqüentemente, maior intensidade do sabor salgado. Apesar das amostras apresentarem teores de sódio próximos, a marca A se sobressaiu na preferência para intensidade de sal ideal.

## 4 | CONCLUSÃO

As três marcas avaliadas não apresentaram diferença significativa para todos os atributos: cor, sabor, textura, intensidade de sal e aceitação global.

Porém, houve maior frequência de resposta para a marca A que se destacou para todos os atributos avaliados. Todas apresentaram forte correlação entre sabor e aceitação global, entretanto apenas A e C tiveram correlação entre intensidade de sal e aceitação global.

Na avaliação da intensidade de sal ideal nenhuma das marcas atingiu a porcentagem para ser considerada ideal, no entanto a marca A foi a que apresentou a maior frequência de resposta para intensidade ideal.

Embora a três marcas apresentem teor de sódio semelhante, a marca A possui um teor de sódio um pouco mais elevado, e se destacou na preferência dos julgadores para o perfil sensorial e escala do ideal.

## REFERÊNCIAS

BEDALE, W., SINDELAR J. J., MILKOWSKI, A. L. Dietary nitrate and nitrite: Benefits, risks, and evolving perceptions. **Meat Science**, n. 120, p. 85-92, 2016.

LAND, D.G.; SHEPHERD, R. **Scaling and ranking methods**. In: PIGGOTT, J.R. (Ed.) Sensory analysis of foods. London: Elsevier Applied Science, 1988. cap. 6, p. 155.

MONTEIRO, C.A., LEVY, R.B., CLARO, R.M., CASTRO, I.R.R.D. and CANNON, G. Increasing consumption of ultra-processed foods and likely impact on human health: evidence from Brazil. **Public Health Nutrition**, n.14, p.5-13, 2010.

PHILLIPS, F. Don't pass the salt. **Nutr. Bull.**, v.28, p.339-40, 2003.

RUUSUNEN, M.; POULANNE, E. Sodium in meat products. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF MEAT SCIENCE AND TECHNOLOGY, 2004, Helsinki. **Annals...** Helsinki, Finland: University of Helsinki, 2004. 60 p

SIDEL, J. L.; STONE, H. The role of sensory evaluation in the food industry. **Food Quality and Preference**, v.4, n.1-2, p.65-73, 1993.

SILVA, J.P.; SILVA, L.P.G. Estudo e avaliação do consumidor de carne suína “in natura” e industrializada na microrregião de guarabira. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v. 05, p. 57-61, 2009.

VICKERS, Z. Sensory specific satiety in lemonade using a just right scale for sweetness. **J. Sensory Study**, v.3, n1, p.1-8, 1988.

WEISS, J., GIBBS, M., SCHUH, V. and SALMINEN, H. Advances in ingredient and processing systems for meat and meat products. **Meat Science**, n.76, p.196-213, 2010.

## DESENVOLVIMENTO DE LOMBO DEFUMADO PRODUZIDO COM CARNE DE JAVALI

### **Lucas de Souza Nespeca**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná –  
Departamento de Engenharia e Tecnologia de  
Alimentos  
Campo Mourão – Paraná

### **Camila da Silva Venancio**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná –  
Departamento de Engenharia e Tecnologia de  
Alimentos  
Campo Mourão – Paraná

### **Ana Claudia Montuan de Sousa**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná –  
Departamento de Engenharia e Tecnologia de  
Alimentos  
Campo Mourão – Paraná

### **Adriana Aparecida Droval**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná –  
Departamento de Engenharia e Tecnologia de  
Alimentos  
Campo Mourão – Paraná

### **Leila Larisa Medeiros Marques**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná –  
Departamento de Engenharia e Tecnologia de  
Alimentos  
Campo Mourão – Paraná

### **Renata Hernandez Barros Fuchs**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná –  
Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de  
Alimentos  
Campo Mourão – Paraná

### **Flávia Aparecida Reitz Cardoso**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná –

Departamento de Matemática  
Campo Mourão – Paraná

### **Natália da Silva Leitão Peres**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná –  
Departamento de Engenharia e Tecnologia de  
Alimentos  
Campo Mourão – Paraná

### **Angélica Maria Delovo Fernandes**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná –  
Departamento de Engenharia e Tecnologia de  
Alimentos  
Campo Mourão – Paraná

### **Lucas Shinti Iwamura**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná –  
Departamento de Engenharia e Tecnologia de  
Alimentos  
Campo Mourão – Paraná

### **Larissa Correa**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná –  
Departamento de Engenharia e Tecnologia de  
Alimentos  
Campo Mourão – Paraná

**RESUMO:** Este estudo teve por objetivo desenvolver um lombo defumado com carne de javali e avaliar as características físico-químicas e sensoriais comparando com o lombo defumado produzido com carne suína. O javali (*Sus scrofa scrofa*), uma espécie exótica de mamíferos, produz carne com

atributos qualitativos marcantes com relação às suas propriedades sensoriais e nutricionais. Os lombos apresentaram um valor de pH de 6,58 para o javali e 5,17 para o suíno. As amostras de lombo de javali apresentaram uma menor perda de peso se comparada as de suíno. A composição centesimal proximal para ambas formulações se apresentou de acordo com a legislação vigente. Em relação a cor, as amostras de javali apresentaram um valor de L\* maior (59,73) do que as de suíno (31,63). Na avaliação sensorial para o teste de diferença do controle, as amostras de lombo suíno foram ligeiramente melhores em todos os atributos estudados do que as amostra de lombo de javali. E no teste de aceitação para a amostra de suínos todos os atributos avaliados, apresentando nota média acima de 6,0 (Gostei ligeiramente). A amostra de javali apresentou valores acima de 6,0 para os atributos avaliação global, sabor e odor, e valores acima de 5 (não gostei e nem desgostei) para a cor e textura, demonstrando aceitação similar dos produtos desenvolvidos pelos julgadores. Os resultados indicam que a obtenção de um novo produto requer algumas modificações em sua fabricação e hábitos diferentes do consumidor.

**PALAVRAS-CHAVE:** carne exótica, caracterização, análise sensorial.

## DEVELOPMENT OF SMOKED LOIN PRODUCED WITH BOAR MEAT

**ABSTRACT:** This study aimed to develop a smoked tenderloin with boar meat and to evaluate the physical-chemical and sensorial characteristics compared to the smoked tenderloin produced with pork. Wild boar (*Sus scrofa scrofa*), an exotic species of mammals, produces meat with marked qualitative attributes in relation to its sensory and nutritional properties. The loins had a pH value of 6.58 for the boar and 5.17 for the swine. Samples of boar loin presented a lower weight loss when compared to swine. The proximal centesimal composition for both formulations was presented according to the current legislation. Regarding color, wild boar samples had a higher L\* value (59.73) than pig samples (31.63). In the sensory evaluation for the control difference test, the pork loin samples were slightly better in all attributes studied than the loin loin samples. And in the acceptance test for the swine sample all evaluated attributes, presenting average mark above 6.0 (I liked it slightly). The boar sample presented values above 6.0 for the attributes global evaluation, flavor and odor, and values above 5 (I didn't like and disliked) for color and texture, demonstrating similar acceptance of the products developed by the judges. The results indicate that obtaining a new product requires some modifications in its manufacturing and different consumer habits.

**KEYWORDS:** exotic meat, characterization, sensory analysis.

## 1 | INTRODUÇÃO

A criação de animais silvestres é uma prática que vem se desenvolvendo a cada ano no Brasil, com a organização de criatórios específicos com finalidades que vão desde o manejo e reprodução, a exploração econômica. Dos principais animais silvestres reproduzidos em cativeiros estão o javali, a capivara, o porco-do-mato (cateto

e queixada), entre outros mamíferos autóctones da América do Sul (SILVA, 2007).

Os javalis são mamíferos que pertencem à ordem *Artiodactyla*, da família *Suidae*, originalmente encontrada na Europa, Ásia e África, representada por cinco gêneros, entre eles o *Sus* e o *Babyrousa*. O gênero *Sus* compreende cinco espécies vivas, entre elas a *Sus scrofa* L, uma espécie comum do norte da África e sudoeste da Ásia. Acredita-se na existência de no mínimo 16 subespécies, como por exemplo, o javali europeu (*S. s. scrofa*), o porco doméstico (*S. s. domestica*) e o javali da Malásia e Indonésia (*S. s.s vittatus*) (MIRANDA, 2003). No Brasil, sua criação iniciou no Rio Grande do Sul e sua exploração cresceu a partir de 1991, estendendo-se para outros estados, devido sua facilidade nos sistemas de criação frequentemente usados juntamente com animais domésticos, contando ainda com um mercado para os produtos e subprodutos de tais criações (ALBUQUERQUE, 2009; MARCHIORI, 2003). Seus atributos qualitativos são bem estabelecidos, como uma espécie exótica com características marcantes como, carne de excelente sabor e ótima qualidade nutricional, possui coloração escura, baixo teor de gordura e colesterol, e alto teor de proteína (LUI et al., 2015; PAULINO, 2012; MIRANDA, 2003).

A preocupação com uma alimentação saudável vem aumentando, e há um acréscimo na procura de fontes de carne alternativas pelo consumidor moderno, que vêm exigindo em sua dieta alimentar carnes que apresentem baixos teores de gordura e, ao mesmo tempo, sejam nutritivas e saborosas. Existe ainda uma carência no mercado de produtos cárneos processados a partir de carnes exóticas, especificamente de carne de javali. Porém, é uma tendência a produção e comercialização de produtos processados, como presuntos, embutidos defumados, patês e outros embutidos como salame e linguiças, aumentando a exploração dessas outras fontes de proteína animal (PAULINO, 2012).

Com base nestes dados, o objetivo deste estudo foi desenvolver um produto a base de carne de javali defumado, agregando valor e diversificando a sua forma de consumo através de sua industrialização e avaliar as características físico-químicas e sensoriais do produto desenvolvido.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Matéria prima

Foi utilizado o corte cárneo *in natura*, congelado, lombo (*Longissimus dorsi*) de Javali (*Sus scrofa*) que foi adquirido no comércio da cidade de Curitiba – PR. Para a formulação padrão foi adquirido o corte cárneo lombo suíno *in natura* e demais ingredientes não-cárneos no comércio da cidade de Campo Mourão – PR. Os aditivos como sal de cura, eritorbato de sódio, fosfato e condimento foram doados pela empresa Ibrac. Foram utilizadas tripas sintéticas de colágeno para embutido, adquirida no comércio local da cidade de Campo Mourão.

## 2.2 Determinação do pH

As medidas de pH foram realizadas com auxílio do potenciômetro de contato, marca Testo, de acordo com a metodologia sugerida por Olivo et al. (2001). O ponto de incisão do eletrodo foi diretamente na parte central do lombo pronto.

## 2.3 Determinação da cor objetiva

As amostras de lombo foram cortadas ao meio e a leitura foi realizada em 3 pontos distintos da mesma amostra. Para isso, utilizou-se o colorímetro Hunter Lab - Miniscan EZ, em que: L\* representa a porcentagem de luminosidade (0= escuro e 100=claro), a\* onde -a\* representa direção ao verde e +a\* direção ao vermelho, e b\*, onde -b\* representa direção ao azul e +b\* direção ao amarelo.

## 2.4 Determinação da perda de peso por cozimento

Os lombos foram pesados, ainda íntegros, antes e após a cocção, com a finalidade de se conhecer a perda de peso durante o processo de defumação (cozimento / *cooking loss*), onde os resultados foram expressos em porcentagem, baseando-se na diferença de peso inicial da amostra em relação ao peso final (HONIKEL, 1998).

## 2.5 Determinação do perfil de textura

Para a avaliação do perfil de textura instrumental (TPA) foi utilizada a metodologia descrita por Bourne (1978). Onde utilizou-se um texturômetro TA-XT Express (Stable Micro Systems) para obter valores de dureza, elasticidade, coesividade e mastigabilidade. A velocidade foi mantida constante (5mm/s), e para a análise foi utilizado uma sonda cilíndrica 28 de 5cm de diâmetro, e para análise dos dados foi utilizado um software modelo Expression. O teste foi realizado a temperatura ambiente e com 10 repetições para cada formulação (padrão e javali).

## 2.6 Composição centesimal proximal

Para as formulações foi determinado o teor de proteínas segundo o método de semi-micro Kjeldahl (n° 928.08) conforme técnicas da AOAC (CUNNIFF, 1998), teor de lipídios de acordo com Bligh e Dyer (1959) e os teores de umidade e cinza de acordo com as metodologias descritas pelo Instituto Adolfo Lutz (2005).

## 2.7 Avaliação microbiológica

As análises microbiológicas foram realizadas de acordo com a RDC N° 12, de 02 de janeiro de 2001 (BRASIL, 2001), tendo como objetivo avaliar a qualidade microbiológica do lombo do período de armazenamento e garantir a higiene e segurança do processamento (SILVA, 2007). As análises foram realizadas conforme a Instrução Normativa n° 62, de 26 de agosto de 2003 (BRASIL,2003), através da metodologia

manual clássica e as vidrarias utilizadas foram, béquer, tubo de ensaio, placas de petri, tubo de Durhan, estufa, banho maria à 45°C. Sendo assim, foram realizadas as contagens de Coliformes termotolerantes a 45°C, *Staphylococcus* coagulase positiva e *Salmonella* spp.

## 2.8 Análises sensoriais

Os produtos desenvolvidos foram avaliados pelo teste de diferença de controle (DUTCOSKI, 2013) juntamente com uma amostra de lombo comercial, que contou com a presença de 23 provadores treinados. Os provadores foram solicitados a provar uma amostra denominada controle (C) e as demais amostras e atribuir uma nota variando de 1 (Extremamente melhor que o controle) a 9 (Extremamente pior que o controle), para os atributos cor, textura, sabor, odor e avaliação global.

Os lombos canadenses elaborados foram também submetidos ao teste de aceitação (MEILGAARD; CIVILLE; CARR, 1999). Foram avaliados os atributos sabor, textura, cor, odor e aceitação global, através de uma escala hedônica de categoria verbal de nove pontos (9 = gostei muitíssimo; 1 = desgostei muitíssimo).

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Caracterização físico-química das amostras de lombo

As medidas de pH foram realizadas em triplicata e os valores do pH das amostras de lombo defumado foram de  $6,58 \pm 0,01$  para as amostras feitas com carne de javali e de  $5,17 \pm 0,01$  para as amostras feitas com carne suína e apresentaram diferença significativa ao nível de significância de 5% pelo teste de Tukey. No entanto, os valores estão dentro do limite máximo segundo a legislação brasileira para produtos cárneos que é de pH 6,8 (BRASIL, 2000).

Os resultados obtidos da determinação da cor nas amostras de lombo defumado estão apresentados na Tabela 1, representados pelos valores médios de luminosidade  $L^*$  e os valores de cor dos componentes  $a^*$  e  $b^*$ .

Amostras	$L^*$	$a^*$	$b^*$
Javali	$59,73 \pm 1,24^a$	$11,94 \pm 0,99^a$	$15,43 \pm 1,39^a$
Suíno	$31,63 \pm 1,66^b$	$7,02 \pm 1,93^b$	$13,68 \pm 0,71^b$

Tabela 1. Médias e desvios padrões dos valores de cor objetiva para as formulações de lombo defumado (Javali e Suíno)

Letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

Conforme pode ser observado na Tabela 2, os valores médios obtidos de  $L^*$  (luminosidade),  $a^*$  e  $b^*$  mostraram que houve diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre as

amostras. O lombo de javali apresentou uma maior luminosidade do que a amostra de lombo suíno (Tabela 2), valor este diferente do esperado, devido a carne de javali apresentar uma coloração mais escura, ou seja, um maior valor de L\* quando comparado a carne suína (SALES e KOTRBA, 2013).

Já em relação ao valor do componente a\* as amostras de lombo de javali apresentaram uma pigmentação vermelha mais acentuada. O componente a\* está relacionada ao teor de mioglobina presente na carne, ou seja, quanto maior a quantidade de mioglobina presente na carne, maior será o valor de a\*. O componente b\* tem uma direção maior para o amarelo e sob condições extremas, o pigmento pode ser decomposto com a separação do grupo heme da parte protéica, ocasionando a separação do átomo de ferro da estrutura, levando à cor amarelada (SHIMOKOMAKI, 2006).

O maior valor de L\* (luminosidade) determinado nas amostras de lombo de javali pode estar relacionado ao maior teor de umidade apresentado (71,35 g/100g) nestas amostras, do que nas de lombo suíno (28,09 g/100g), conforme pode ser visto na Tabela 3 em sequência. Segundo Shimokomaki (2006) quando feita a leitura no colorímetro, amostras que apresentam maior teor de água refletem muito mais a luz e sua luminosidade acaba sendo mais clara. No entanto ambas estão de acordo com o que preconiza a legislação brasileira, sugerindo umidade máxima permitida nestes produtos de até 72 g/100g (BRASIL, 2000).

Na determinação da composição centesimal proximal, valores médios de proteína, lipídeos, umidade e cinzas determinadas nas amostras de lombo estão apresentados na Tabela 2.

Amostras	Proteína	Lipídios	Umidade	Cinzas
Javali	16,02 ±1,12 <sup>a</sup>	7,50±1,25 <sup>a</sup>	71,35±0,85 <sup>a</sup>	1,06±0,002 <sup>a</sup>
Suíno	12,08±0,88 <sup>b</sup>	5,88±0,89 <sup>b</sup>	28,09±0,88 <sup>b</sup>	1,02±0,46 <sup>a</sup>

Tabela 2. Médias e desvios padrões dos valores da composição centesimal proximal das amostras de lombo defumado (Javali e Suíno)

Letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

Conforme a Tabela 2, apenas o teor de cinzas não apresentou diferença significativa entre as amostras. O valor médio obtido de proteína foi de 16,02 ±1,12 g/100g para javali e 12,08±0,88 g/100g para suíno, sendo a amostra de javali com um maior teor proteico, assim como a sua umidade, sendo de 71,35±0,85, um número significativamente maior que o da amostra de suíno, que foi de apenas 28,09±0,88. O teor de lipídios médio encontrado neste trabalho foi maior nas amostras de lombo defumado de javali (7,50 ±1,25 g/100g) do que nas amostras de lombo suíno (5,88±0,89 g/100g). No entanto, ambas as amostras estão de acordo com a legislação brasileira (BRASIL, 2000) que estabelece um teor máximo de 8,00 g/100g de lipídeos em tais

produtos.

Antes e após a defumação as amostras de lombo foram pesadas e determinou-se a perda de peso por cozimento (PPC), onde o lombo suíno apresentou uma maior PPC (33,52g/100g) que o javali (20,70g/100g), havendo diferença significativa entre as amostras ( $p \leq 0,05$ ). A perda de água ou de material solúvel durante o processamento de um produto cárneo é importante do ponto de vista tecnológico, sensorial e econômico. Esta perda pode gerar acúmulo de líquidos nas embalagens, causando má impressão ao consumidor, especialmente quando o produto é fatiado e utilizado como matéria-prima de pratos prontos (SILVA, 2015).

Para a análise dos resultados do Perfil Livre, empregou-se também o teste de Tukey afim de verificar se houve diferenças significativas nos parâmetros obtidos pelo texturômetros das duas formulações de lombo. Sendo assim, os resultados podem ser visualizados nas Tabelas 3 e 4.

Amostras	Dureza (N)	Fraturabilidade (N)	Adesividade (N.s)	Flexibilidade
Javali	28,05 <sup>a</sup> ± 6,34	0,00 <sup>a</sup> ± 0,00	- 0,19 <sup>a</sup> ± 0,05	0,84 <sup>a</sup> ± 0,02
Suíno	60,81 <sup>b</sup> ± 5,36	0,00 <sup>a</sup> ± 0,00	- 0,05 <sup>b</sup> ± 0,04	0,92 <sup>b</sup> ± 0,02

Tabela 3. Médias e desvios padrões do perfil de textura para formulações de lombo  
Letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

Amostras	Mastigabilidade	Gomosidade	Coesividade	Resiliência
Javali	1641,83 <sup>a</sup> ± 429,14	1951,75 <sup>a</sup> ± 424,32	0,69 <sup>a</sup> ± 0,03	0,36 <sup>a</sup> ± 0,02
Suíno	4094,98 <sup>b</sup> ± 362,69	4424,15 <sup>b</sup> ± 358,62	0,72 <sup>a</sup> ± 0,03	0,40 <sup>a</sup> ± 0,01

Tabela 4. Médias e desvios padrões do perfil de textura para formulações de lombo

Letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

Pode ser observado nas Tabelas 3 e 4 que apenas os perfis de fraturabilidade e resiliência não apresentaram diferença significativa entre as amostras estudadas. Para os demais perfis determinados houve diferença significativamente pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). As amostras de javali, conforme resultados apresentados anteriormente (Tabela 2), apresentaram uma menor dureza (28,05), conseqüentemente uma maior maciez visto pelo perfil de mastigabilidade, do que as amostras de lombo suíno que se apresentaram com uma textura mais firme, possivelmente devido ao menor teor de umidade e gordura (Tabela 2). A textura do lombo canadense defumado tem importância vital tanto na comercialização como no consumo deste produto.

### 3.2 Análises microbiológicas

Na Tabela 5 encontram-se os resultados obtidos das análises microbiológicas dos produtos desenvolvidos.

Amostras	<i>Salmonella</i> sp	<i>Staphylococcus</i> coagulase positiva	Coliformes a 45° C
Javali	Aus	<10 <sup>3</sup> UFC/g	<10 <sup>3</sup> UFC/g
Suíno	Aus	<10 <sup>3</sup> UFC/g	<10 <sup>3</sup> UFC/g
Padrão RDC 12/2001	Aus	3x10 <sup>3</sup> UFC/g	5x10 <sup>3</sup> UFC/g

Tabela 5. Resultados das análises microbiológicas realizadas após a defumação dos lombos

Todas as amostras de lombo apresentaram-se dentro dos padrões microbiológicos de qualidade, conforme observado na Tabela 6. Contudo, a partir dos resultados microbiológicos, pode-se concluir que o lombo tipo canadense defumado com carne de javali e carne suíno foram produzidas conforme a boas práticas de fabricação de alimentos e que estava adequada para a realização da análise sensorial.

### 3.3 análises sensoriais

Os resultados obtidos para o teste de diferença de controle estão apresentados na Tabela 6:

Amostras	Aparência	Odor	Sabor	Textura	Impressão Global
Javali	5,77±0,98	4,50±0,86	5,18±0,78	5,22±0,98	5,63±0,76
Suíno	4,05±0,87*	4,31±0,78	4,18±0,85	4,09±0,92	4,0±0,58*
Comercial	4,27±0,83*	5,0±0,97	4,59±0,88	4,77±0,84	4,5±0,72*

Tabela 6. Médias e desvios padrões do teste de diferença de controle

Letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

No atributo aparência as amostras de lombo defumado suíno e comercial diferem-se ao nível de 5% de significância, da amostra elaborada com carne de javali (controle), mostrando-se ligeiramente melhores que o controle. Nos atributos odor, sabor e textura as amostras de lombo de suíno e comercial não diferiram significativamente ( $p < 0,05$ ) da amostra controle (javali). Por fim, no atributo avaliação global a amostra controle difere das amostras comercial e da elaborada com carne de suíno, sendo que estas foram consideradas ligeiramente melhores que o controle.

Os resultados obtidos para o teste de aceitação podem ser visualizados na Tabela 7:

Amostras	Impressão Global	Sabor	Cor	Textura	Odor
Javali	6,39±0,52 <sup>b</sup>	6,68±0,58 <sup>b</sup>	5,66±0,38 <sup>c</sup>	5,65±0,35 <sup>c</sup>	7,74±0,11 <sup>a</sup>
Suíno	7,28±0,48 <sup>ab</sup>	7,62±0,44 <sup>a</sup>	7,24±0,29 <sup>b</sup>	6,36±0,29 <sup>b</sup>	7,7±0,32 <sup>a</sup>
Comercial	7,56±0,22 <sup>a</sup>	7,46±0,39 <sup>a</sup>	7,86±0,37 <sup>a</sup>	7,77±0,12 <sup>a</sup>	7,65±0,12 <sup>a</sup>

Tabela 7. Médias e desvios padrões do teste de aceitação

Médias seguidas por \* diferem da amostra controle ( $p < 0,05$ ).

Conforme podemos verificar na Tabela 7, houve diferença significativa entre as formulações de lombo canadense ao nível de 5% de significância ( $p \leq 0,05$ ) em relação aos atributos avaliação global, sabor, cor e textura. No quesito cor e textura as amostras são diferentes entre si e a mais aceita foi a Comercial, em seguida a mostra de lombo com carne suína e por fim a amostra com javali. Isto se deve ao fato da carne de javali ser mais escura, comparada com a carne de suíno. Como a cor é um atributo que está relacionado com característica de frescor, o lombo de javali obteve uma menor aceitação devido sua coloração ser diferente das outras amostras. No atributo textura, todas as amostras foram diferentes e a comercial teve uma maior aceitação. Isto pode ter sido ocasionada pelo tempo de defumação, onde a amostra comercial e suína possui uma textura mais semelhante ao lombo. Já o javali obteve um aspecto “cru” de textura mole e apresentou maior teor de umidade. O teste de odor não apresentou diferença, pelo fato do cheiro ser aceitável e semelhante entre os produtos. Em relação ao sabor o lombo suíno e a amostra comercial foram mais aceita do que o de javali. Isto pode estar relacionado ao sabor característico de carne exótica ser mais acentuado (“forte”). Porém, obteve-se uma média de 6,68, de gostei moderadamente. A avaliação global, que é avaliação geral do produto, obteve uma média de 6,39 para o javali de gostei ligeiramente, ou seja, sua viabilidade de lançamento no mercado é possível, envolvendo uma questão de hábito do consumidor.

#### 4 | CONCLUSÃO

Conclui-se que o desenvolvimento de um novo produto cárneo com javali foi considerável, apresentando valores dentro dos padrões físico-químicos e de qualidade estudados, necessitando de melhoramento principalmente em relação a cor e a textura no desenvolvimento de produtos cárneos com esta matéria-prima. As carnes oriundas de animais silvestres necessitam de uma maior exploração e de maiores ofertas de produtos industrializados no mercado para serem melhores apreciadas pelos consumidores.

#### REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, C. E. D. **Criação, abate e comercialização de animais silvestres**. Disponível em: <<http://qualittas.com.br/uploads/documentos/Criacao,%20Abate%20e%20Comercializacao%20de%20Animais%20Silvestres%20-0Carlos%20Eduardo%20R%20D>> Acesso em: 09 fev. 2015.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. **A rapid method of total lipid extraction and purification**. Canadian Journal of Biochemistry and Physiology, v. 37, n.8, p. 911-917, 1959.

BOURNE, M. C. **Texture profile analysis**. Food technology, v. 32, n. 7, p. 62 – 72, 1978.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 4, de 31 de março de 2000**. Aprova os Regulamentos Técnicos de Identidade e Qualidade de Patê, de Bacon ou Barriga Defumada e de Lombo Suíno. Diário Oficial da União, Brasília, v. 21, p. 15-28, 2000.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária (Dispoa). **Instrução Normativa nº 62, de 26 de agosto de 2003**, que aprova os métodos analíticos oficiais para análises microbiológicas para controle de produtos de origem animal e água. Disponível em: <http://extranet.agricultura.gov.br/sislegisconsulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=2851>

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. 2001. **Resolução RDC nº 12, de dois de janeiro de 2001**, que aprova o Regulamento Técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. Disponível em: [http://www.abic.com.br/arquivos/leg\\_resolucao12\\_01\\_anvisa.pdf](http://www.abic.com.br/arquivos/leg_resolucao12_01_anvisa.pdf)

CUNNIF, P. A. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. Ed. 6. Arlington: Association of Official Analytical Chemists. 1998.

DUTCOSKI, S. D.. **Análise sensorial de alimentos**. Ed. 4. E ampl. – Curitiba: Champagnat, 2013.

HONIKEL, K.O. **Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat**. Meat Science, v. 49, n. 4, p. 447-457, 1998.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. v.1: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. Ed. 3. Sao Paulo: IMESP, p. 347-402, 2005.

LUI, J. F.; A, C. N.; P. A. Tosta; E. B., Malheiros. **Lípídeo, proteína e colesterol na carne de javalis (*Sus scrofa scrofa*) de diferentes grupos genéticos**. Disponível em: <[http://www.uco.es/organiza/servicios/publica/az/php/img/web/06\\_17\\_39\\_17NotaLipideoLui.pdf](http://www.uco.es/organiza/servicios/publica/az/php/img/web/06_17_39_17NotaLipideoLui.pdf)>. Acesso em 08 fev. 2015.

MARCHIORI, A. F.; FELICIO, P. E. **Quality of wild boar meat and comercial pork**. Scientia. Agricola. v. 60, n. 1, p.1-5, 2003.

MEILGAARD, M.; CIVILLE, G.V.; CARR, B.T. **Sensory evaluation techniques**. Ed. 3. Boca Raton: CRC, London, 1999.

MIRANDA, L.L.; LUI, J. F. **Citogenética do javali em criatórios comerciais das regiões Sul e Sudeste do Brasil**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 38, n. 11, 2003.

OLIVO, R.; SOARES, A.L.; IDA, E.I.; SHIMOKOMAKI, M. **Dietary vitamin e inhibits poultry pse and improves meat functional properties**. Journal of Food Biochemistry, v.25, n. 4, p. 271-283, 2001.

PAULINO, Flávia de Oliveira. **Produção e características de qualidade de hambúrguer de carne de jacaré-do-pantanal (*Caiman crocodilus yacare*)**. Niterói, 2012. Disponível em: <[http://www.uff.br/higiene\\_veterinaria/teses/flaviapaulino.pdf](http://www.uff.br/higiene_veterinaria/teses/flaviapaulino.pdf)>

SALES, J. KOTRBA,R. **Meat from Wilde boar (*Sus scrofa L.*): a review**. Meat Science, v. 94, n. 2, p. 187-201, 2013.

SHIMOKOMAKI, M. **Atualidades em ciência e tecnologia de carnes**. Editora Varela, 2006.

SILVA, G. B. **Caracterização instrumental de lombos tipo canadense comercializados em Lavras - MG**. Higiene Alimentar, v. 29, p. 1628-1631, 2015.

SILVA, N. **Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos**. Ed. 3. São Paulo: Livraria Varela, 2007.

SILVA, P. V. C. **Caracterização Genética de Javalis por Meio de Marcadores Microssatélites**. Dissertação de Mestrado em Genética e Melhoramento Animal. 55 f. Unesp, Jaboticabal – SP, 2007.

## OTIMIZAÇÃO DE MORTADELA COM APLICAÇÃO DE MACA PERUANA

### **Natália da Silva Leitão Peres**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
Departamento Acadêmico de Alimentos  
Campo Mourão

### **Letícia Cabrera Parra Bortoluzzi**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
Departamento Acadêmico de Alimentos  
Campo Mourão

### **Adriana Aparecida Droval**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
Departamento Acadêmico de Alimentos  
Campo Mourão

### **Leila Larisa Medeiros Marques**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
Departamento Acadêmico de Alimentos  
Campo Mourão

### **Flávia Aparecida Reitz Cardoso**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
Departamento Acadêmico de Matemática  
Campo Mourão

### **Renata Hernandez BarrosFuchs**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de  
Alimentos  
Campo Mourão

### **Camila da Silva Venancio**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
Departamento Acadêmico de Alimentos  
Campo Mourão

### **Lucas de Souza Nespeca**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
Departamento Acadêmico de Alimentos

Campo Mourão

### **Luiza Pelinson Tridapalli**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
Departamento Acadêmico de Alimentos  
Campo Mourão

### **Lucas Shinti Iwamura**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
Departamento Acadêmico de Alimentos  
Campo Mourão

### **Larissa Correa**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
Departamento Acadêmico de Alimentos  
Campo Mourão

### **Angélica Maria Delovo Fernandes**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
Departamento Acadêmico de Alimentos  
Campo Mourão

**RESUMO:** A mortadela é um embutido cárneo muito apreciado e consumido por todas as classes sociais. Geralmente em sua formulação são adicionados proteínas animais e vegetais, gordura e carboidratos como a fécula, e outros ingredientes e aditivos. A maca peruana é um tubérculo, que vem sendo pesquisado a sua adição em produtos industrializados devido as suas propriedades antioxidantes, funcionais e nutricionais, principalmente pelo seu conteúdo de proteínas, ácidos graxos e minerais. Este estudo otimizou por meio de um delineamento

experimental de mistura para dois componentes uma formulação de mortadela. Os componentes da mistura foram a fécula e a maca peruana, e foram avaliados as características físico-químicas de pH, Capacidade de Retenção de Água (CRA), cor objetiva e aceitação sensorial. Em relação as características físico-químicas houve variação estatística ( $p < 0,05$ ), e os valores médios de pH foram de 6,08 a 6,11, para a CRA os valores foram de 93,54 g/100g a 95,42 g/100g; e os valores para a cor objetiva foram de 64,11 a 67,11 para  $L^*$ ; 11,36 a 11,77 para o componente  $a^*$  e 10,05 a 11,62 para  $b^*$ . Não houve diferenças significativas entre as formulações de mortadela no teste de aceitação em nenhum dos atributos pesquisado, demonstrado que a maca não interferiu sensorialmente nas características estudadas, apresentando similaridade com a amostra padrão. Foi possível a otimização de uma formulação ideal de mortadela equivalente a 25% de fécula e 75% de maca.

**PALAVRAS-CHAVE:** Otimização, mortadela, maca peruana.

## OPTIMIZATION OF MORTADELA WITH APPLICATION OF MACA PERUANA

**ABSTRACT:** Mortadella is a meaty sausage much appreciated and consumed by all social classes. Generally in its formulation are added animal and vegetable proteins, fat and carbohydrates like starch, and other ingredients and additives. Peruvian maca is a tuber, which has been researched its addition in industrialized products due to its antioxidant, functional and nutritional properties, mainly for its content of proteins, fatty acids and minerals. This study optimized by means of an experimental design of mixture for two components a mortadella formulation. The components of the mixture were starch and Peruvian maca, and the physic chemical characteristics of pH, Water Retention Capacity (WRC), objective color and sensorial acceptance were evaluated. Regarding the physicochemical characteristics, there was statistical variation ( $p < 0.05$ ), and the mean pH values were 6.08 to 6.11, for WRC the values ranged from 93.54g/100g to 95.42g/100g; and the values for the objective color were from 64.11 to 67.11 for  $L^*$ ; 11.36 to 11.77 for component  $a^*$  and 10.05 to 11.62 for  $b^*$ . There was no significant difference between the mortadella formulations in the acceptance test in any of the attributes investigated, demonstrated that maca did not interfere sensorially in the studied characteristics, presenting similarity with the standard sample. It was possible to optimize an ideal mortadella formulation equivalent to 25% starch and 75% maca.

**KEYWORDS:** Optimization, mortadela, maca peruana.

## 1 | INTRODUÇÃO

Entende-se por Mortadela, o produto cárneo industrializado, obtido de uma emulsão das carnes de animais de açougue, acrescido ou não de toucinho, adicionado de ingredientes, embutido em envoltório natural ou artificial, em diferentes formas, e submetido ao tratamento térmico adequado (MAPA, 2000). Segundo a Associação Brasileira da Indústria Produtora e Exportadora de carne suína (2013) o consumo de

produtos industrializados e embutidos de suínos *per capita* no ano de 2012 foi de 14,9 kg. No mercado brasileiro a mortadela atingiu um consumo de 0,827 kg/per capita/ano, sendo o sul do país o maior consumidor (IBGE,2010).

A maca peruana (*Lepidium meyenii*) descrita por Gerhard Walpers em 1843, é uma planta perene, cujas folhas são pequenas e onduladas. Seu tubérculo assemelha-se a um grande rabanete de cor branco amarelado. É consumido seco e pulverizado como suplemento de outros alimentos ou misturado (GONZALESet al.,2013;CIKUTOVICetal.,2009). Pertence à família *Brassicaceae* e cresce nos Andes centrais do Peru por volta dos 4000 metros de altitude, sendo cultivado a mais de 2.000 anos (GONZALES et al., 2009).

Em relação ao valor nutricional, a maca apresenta considerável conteúdo de proteínas, ácidos graxos insaturados e minerais (RONDÁN-SANABRIA, FINARDI-FILHO, 2009; VALENTOVÁ et al.,2006; DINI et al., 1994). A maca peruana pode ser utilizada como agente antioxidante natural (LI, S. et al., 2017) e pode ainda ajudar a manter um equilíbrio entre oxidantes e antioxidantes (SANDOVAL, OKUHAMA, ANGELES et al., 2001). A exigência do consumidor reforça o mercado potencial dos antioxidantes naturais, uma vez que existe grande desconforto de uma parcela da população em manter a aquisição e consumo de alimentos industrializados, cuja produção reconhecidamente envolva o emprego de substanciais quantidades de aditivos sintéticos (AMAROWICZ et al., 2004; VALENTÃO et al., 2002).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi otimizar uma formulação de mortadela utilizando um delineamento experimental de mistura para dois fatores ( $2^2$ ), substituindo total e parcialmente a fécula de mandioca por farinha de maca. A otimização deu-se através da determinação das propriedades físico químicas de pH, cor objetiva, capacidade de retenção de água (CRA) e pela determinação da aceitação sensorial.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

Para a elaboração das mortadelas, foi utilizada carne suína (62,4%), toucinho (15%), água/gelo (12%), fécula de mandioca ou farinha de maca (5%), proteína texturizada de soja (2%), sal de cura (0,25%), antioxidante (0,3%), fosfato (0,3%), condimento para mortadela (0,5%), cloreto de sódio (1,8%), alho desidratado (0,1%) e glutamato monossódico (0,1%).

As matérias-primas, ingredientes e aditivos foram pesados e levados ao *cutter* até obter uma emulsão cárnea, em seguida, foi embutido em tripa artificial e levadas ao processo de cozimento até atingir uma temperatura interna de 72°C. Após cozimento, foi realizado choque térmico por 15 minutos.

Para o estudo das características físico-químicas e sensorial do embutido, foi empregado o planejamento para misturas com dois componentes (fécula e maca),

com restrições para os níveis mínimos e máximos (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2003). Esses níveis mínimos e máximos foram empregados em função da substituição parcial e total da fécula por maca peruana, nas proporções apresentadas conforme Tabela 1.

Formulações	Fécula (%)	Maca (%)
1	0	100
2	100	0
3	25	75
4	75	25
5	50	50
6	50	50
7	50	50

Tabela 1. Proporção de fécula e maca para cada formulação com três repetições no ponto central

Os ensaios foram realizados ao acaso. Após a execução do experimento e a coleta de dados, fez-se o ajuste de uma equação polinomial (modelo canônico de Scheffé) para cada resposta analisada, estimando-se os respectivos coeficientes. Dessas variáveis respostas, as análises aconteceram utilizando-se também as superfícies de resposta e o teste Tukey com nível de significância de 5% (valor  $p < 0,05$ ).

Para determinação de pH foi utilizado potenciômetro de contato (marca Testo) e foi de acordo com metodologia sugerida por Olivo et al. (2001).

A determinação da cor objetiva foi realizada leitura em colorímetro e os resultados foram expressos como  $L^*$  (que representa a porcentagem de luminosidade, 0=escuro e 100=claro),  $a^*$  (onde  $-a^*$  representa direção ao verde e  $+a^*$  direção ao vermelho) e  $b^*$  (onde  $b^*$  representa direção ao azul e  $+b^*$  direção ao amarelo).

A CRA foi determinada de acordo com a metodologia descrita por Silva Sobrinho (1999), com modificações.

O trabalho foi submetido e aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa (CEP) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná sob o número do CAEE 88330918.6.0000.5547. Antes da análise sensorial as formulações foram analisadas microbiologicamente segundo a RDC N° 12, de 02 de janeiro de 2001.

As formulações de mortadelas foram submetidas ao teste de aceitação, utilizando a escala hedônica estruturada de 9 pontos (onde 1 = “desgostei muitíssimo” e 9 = “gostei muitíssimo”). O teste foi realizado com 85 julgadores não treinados.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para simplificar, as formulações foram denominadas, nessa ordem, F1, F2, F3, F4, F5, F6 e F7. Todas as formulações estavam dentro dos padrões microbiológicos

aceitáveis e foram então submetidas ao teste de aceitação, utilizando a escala hedônica estruturada de 9 pontos. 85 provadores não treinados participaram da análise sensorial no intuito de inferir sobre a preferência entre as sete formulações determinadas pelo delineamento fatorial para misturas com fécula e amido e três repetições no ponto central. Os atributos avaliados foram aroma, cor, sabor, textura e impressão global.

Os resultados da análise sensorial empregaram o teste de Tukey, considerando testar as hipóteses de que todas as médias dos atributos das sete formulações seriam iguais ou pelo menos uma das médias seria diferente das demais ao nível de significância de 5%. Dessa forma, aplicouse a análise de variância para todos os fatores envolvidos e os valores obtidos estão representados na Tabela 2.

Formulação	Aroma	Cor	Sabor	Textura	Impressão Global
F1	6,92 <sup>a</sup> ±0,17	6,00 <sup>a</sup> ±0,18	6,94 <sup>a</sup> ±0,18	6,86 <sup>a</sup> ±0,20	6,79 <sup>a</sup> ±0,17
F2	7,04 <sup>a</sup> ±0,16	6,51 <sup>a</sup> ±0,17	7,14 <sup>a</sup> ±0,15	6,69 <sup>a</sup> ±0,17	7,07 <sup>a</sup> ±0,13
F3	7,20 <sup>a</sup> ±0,14	6,31 <sup>a</sup> ±0,18	7,31 <sup>a</sup> ±0,14	6,91 <sup>a</sup> ±0,19	7,16 <sup>a</sup> ±0,14
F4	7,15 <sup>a</sup> ±0,15	6,65 <sup>a</sup> ±0,16	7,22 <sup>a</sup> ±0,16	6,89 <sup>a</sup> ±0,17	7,14 <sup>a</sup> ±0,14
F5	6,98 <sup>a</sup> ±0,15	6,15 <sup>a</sup> ±0,17	7,18 <sup>a</sup> ±0,16	6,53 <sup>a</sup> ±0,20	7,19 <sup>a</sup> ±0,15
F6	7,18 <sup>a</sup> ±0,14	6,49 <sup>a</sup> ±0,15	6,91 <sup>a</sup> ±0,18	6,99 <sup>a</sup> ±0,16	7,09 <sup>a</sup> ±0,15
F7	7,02 <sup>a</sup> ±0,16	6,54 <sup>a</sup> ±0,16	7,14 <sup>a</sup> ±0,15	6,71 <sup>a</sup> ±0,17	7,12 <sup>a</sup> ±0,16

Tabela 2. Médias e desvios padrões dos atributos para as formulações

Médias na mesma coluna, seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 5%.

Observando os resultados da Tabela 2 é possível verificar que não houve diferenças significativas para nenhuma das formulações em todos os atributos. E as médias para o aroma variaram de 6,92 a 7,20, para a cor de 6,00 a 6,54, para o sabor de 6,94 a 7,30, textura 6,69 a 6,98 e impressão global de 6,79 a 7,17, ficando quase todos os valores médios com notas igual a 7,0 que significa na escala hedônica, “gostei moderadamente”. A Tabela 3 apresenta as médias e os desvios-padrões dos resultados das análises físico-químicas para as variáveis pH, CRA(g/100g) e cor objetiva (L\*, a\* e b\*).

Formulação	pH	CRA	Cor L*	Cor a*	Cor b*
F1	6,08 <sup>b</sup> ±0,00	92,75 <sup>c</sup> ±0,17	63,67 <sup>b</sup> ±0,16	11,31 <sup>bc</sup> ±0,08	11,94 <sup>a</sup> ±0,24
F2	6,14 <sup>ab</sup> ±0,00	95,87 <sup>a</sup> ±0,51	67,13 <sup>a</sup> ±0,30	12,66 <sup>a</sup> ±0,08	10,02 <sup>b</sup> ±0,21
F3	5,99 <sup>c</sup> ±0,03	93,72 <sup>bc</sup> ±0,31	66,79 <sup>ac</sup> ±0,37	10,24 <sup>c</sup> ±0,49	10,07 <sup>b</sup> ±0,44
F4	6,17 <sup>a</sup> ±0,00	95,27 <sup>ab</sup> ±0,22	66,24 <sup>ac</sup> ±0,19	11,90 <sup>ab</sup> ±0,13	10,17 <sup>b</sup> ±0,14
F5	6,08 <sup>b</sup> ±0,03	94,15 <sup>bc</sup> ±0,22	65,00 <sup>bc</sup> ±0,69	11,30 <sup>bc</sup> ±0,22	11,09 <sup>ab</sup> ±0,32
F6	6,10 <sup>ab</sup> ±0,00	94,86 <sup>ab</sup> ±0,16	65,36 <sup>abc</sup> ±0,37	11,90 <sup>ab</sup> ±0,21	11,40 <sup>a</sup> ±0,02
F7	6,09 <sup>b</sup> ±0,01	94,74 <sup>ab</sup> ±0,59	65,08 <sup>bc</sup> ±0,27	11,63 <sup>ab</sup> ±0,05	11,15 <sup>bc</sup> ±0,15

Tabela 3. Médias e desvios padrões das análises físico-químicas para as formulações

Médias na mesma coluna, seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 5%.

Para todas as análises foi possível verificar que houve diferenças significativas entre as médias ao nível de significância de 5%. Dessa forma, um modelo polinomial foi ajustado utilizando as variáveis respostas para a fécula e para a maca. Empregou-se o atributo impressão global para esta análise porque este é o que engloba de forma geral todos os outros atributos avaliados na análise sensorial. A análise estatística foi realizada com o *software* Statistica 10 e os resultados encontram-se na Tabela 4. As variáveis x1 e x2 correspondem, respectivamente, à fécula e maca, substituídas na Tabela 4 por F e M, respectivamente.

Parâmetros	Equação	R <sup>2</sup>
pH	6,11F + 6,08M	0,45
CRA	93,54F + 95,42M	0,55
Cor L	64,11F + 67,11M	0,65
Cor a	11,36F + 11,77M	0,57
Cor b	11,62F + 10,05M	0,61
Impressão global	6,96F + 7,20M + 0,86FM	0,84

Tabela 4. Modelos estatísticos obtidos para propriedades de mistura de fécula e maca:

Dessa forma, realizou-se a otimização de uma formulação, considerando todas as variáveis envolvidas nas análises apresentadas na Tabela 4. E foi possível gerar a equação otimizada equivalente a 25% de fécula e 75% de maca, para valores desejáveis correspondentes a um pH de 6,09, uma CRA em torno de 94,96 g/100g, e uma cor objetiva valores de L\*, a\* equivalentes a 66,36;11,67e10,44, respectivamente e a impressão global com valor de 7,14. Ou seja, a adição de maca melhorou as propriedades funcionais do embutido conforme pode ser observado nos resultados.

O teor protéico influencia favoravelmente no aumento da CRA, ou seja, as proteínas possuem a capacidade em reter a sua própria água, assim como a água adicionada, durante a aplicação de forças externas ou durante e após aquecimento (CRISTAS, 2012). No caso dos produtos cárneos, a CRA pode ser definida como a capacidade de absorver e reter água durante os tratamentos mecânicos (corte, moagem, cominuição ou enchimento), tratamento térmico, transporte e armazenagem (ZAYAS, 1997). Sendo assim, uma maior quantidade de proteína gera uma maior CRA, conforme dados obtidos da literatura a maca apresenta considerável conteúdo de proteínas e também de ácidos graxos insaturados e minerais (RONDÁNSANABRIA, FINARDI-FILHO, 2009; VALENTOVÁ et al., 2006; DINI et al., 1994). Como observado na tabela 3, a adição de maca proporcionou certo aumento na CRA (F3= 95,87 g/100g, amostra contendo 100% de maca), e acredita-se que isso se deva a seu conteúdo e qualidade considerável de proteínas.

Para os valores de pH as mortadelas obtiveram valores médios que variaram de 5,99 a 6,17, valores esses geralmente obtidos para este tipo de produto industrializado e similares ao valores médios de pH encontrados no estudo realizado por Paik (2018)

sobre adição de farelo de trigo em embutidos de carne de frango no qual o pH foi em torno de 6,47.

Os valores médios de luminosidade ( $L^*$ ) para as amostras de mortadela variaram de 63,67 a 67,13, para o componente  $a^*$  foram de 10,24 a 12,66 e para  $b^*$  foram de 10,02 a 11,94 valores estes diferentes para  $L^*$  e  $a^*$  dos obtidos por Barbosa (2006) que determinou a coloração de embutidos tipo mortadela com aplicação de farinha de arroz e obteve para  $L^*$  valores de 55,00, para  $a^*$  de 22,00 e  $b^*$  em torno de 10,00. Acredita-se que as amostras apresentaram uma maior luminosidade ( $L^*$ ) e menor valor de  $a^*$  (componente que corresponde a coloração vermelha) devido principalmente ao processo de cozimento utilizado neste estudo que foi em banho-maria e não em estufas tradicionais de cozimento que usualmente são utilizados nestes tipos de produtos cárneos. No banho-maria as amostras atingiram o valor interno de cozimento de 72°C em um tempo de aproximadamente 45 minutos, e tradicionalmente em estufas este processo seria em torno de 120 minutos, e isso contribuiria para uma melhor formação da coloração rósea dos produtos cárneos curados.

#### 4 | CONCLUSÃO

A adição de farinha de maca peruana em embutido cárneo tipo mortadela não alterou significativamente as características sensoriais das formulações, e apresentou mudanças positivas nas análises físico-químicas, principalmente em relação a capacidade de retenção de água. Sendo possível neste experimento gerar uma formulação otimizada com ótima desejabilidade contendo porcentagem equivalentes a 25% fécula e 75% de maca. Esses resultados evidenciam que a utilização desta farinha pode ser promissora para a industrialização de embutidos cárneos.

#### 5 | AGRADECIMENTOS

À empresa IBRAC aditivos pela doação dos aditivos e a empresa JASMINE ALIMENTOS pela doação da farinha de maca peruana.

#### REFERÊNCIAS

AMAROWICZ, R. et al. **Free-radical scavenging capacity and antioxidant activity of selected plant species from the Canadian prairies**. Food Chemistry, v.84, n.4, p.551-62, 2004.

ANZALDÚA-MORALES, A. **La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica**. Zaragoza: Acribia SA, 1994. 198 p.

Associação Brasileira da Indústria Produtora e Exportadora de Carne Suína. **ABIPECS**. Estatísticas. 2013. Disponível em: . Acesso em: 18 jun. 2018

BARBOSA, L. N. et al. **Elaboração de embutido tipo mortadela com farinha de arroz**. Repositório Institucional da Universidade Federal do Rio Grande, Vetor, p.11-20, 2006. BODOROINA, R. et al.

Chia (*Salvia hispánica L.*) oil stability: study of the effect of natural antioxidants. LWT - Food Science and Technology 75: 107-113, 2017.

**S.Natural antioxidants: sources, compounds, mechanisms of action, and potential applications.** Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, v.10, 2011.

CIKUTOVIC, M.; FUENTES, N.; BUSTOS-OBREGÓN, E. **Effect of intermittent hypoxia on the reproduction of rats exposed to high altitude in the Chilean Altiplano.** High Alt. Med. Biol., 10(4):357-63, 2009.

CRISTAS, A. S. A. **Capacidade de retenção de água e de gordura de diferentes concentrados protéicos usados em produtos cárneos emulsificados.** 2012. 53 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Alimentar, Universidade Técnica de

Lisboa, Lisboa, 2012. DINI A. et al. **Chemical composition of *Lepidium meyenii*.** Food Chemistry. 1994.

DIPLOCK, A. T. et al. **Functional food science and defence against reactive oxidative species.** British Journal of Nutrition, v. 80, n. 1, p. 77-112, 1998.

FIORDA, F. A.; SIQUEIRA, M. I. D. **Avaliação do pH e atividade de água em produtos cárneos.** 2009. 10 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2009.

GUIOTTO, E. N. et al. **Importance of fatty acid composition and antioxidant content of vegetable oils and their blends on food quality and human health.** Seed Oil: Biological Properties, Health Benefits and Commercial Applications, 2014.

GONZALÉS, G. F. **Ethnobiology and Ethnopharmacology of *Lepidium meyenii* (Maca), a Plant from the Peruvian Highlands.** Evid. Based Complement. Alternat. Med., 2009:193496, 2009.

GONZALÉS, G. F.; Gasco, M.; Lozada-Requena, I. **Role of Maca (*Lepidium meyenii*) Consumption on Serum Interleukin-6 Levels and Health Status in Populations Living in the Peruvian Central Andes over 4000 m of Altitude.** Plant Foods for Human Nutrition, 68(4):347-51, 2013.

HONIKEL, K.O. 1998. **Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat.** Meat Science. 49: 447-457.

LI, S. et al. **Purification, characterization and biological activities of a polysaccharide from *Lepidium meyenii* leaves.** International Journal of Biological Macromolecules, v. 103, p. 1302-1310, Oct 2017.

MORAES, M. A. C. **Métodos para avaliação sensorial dos alimentos.** 6. ed. Campinas: Editora da Unicamp, 1988. 93 p.

OLIVO, R. et al. **Fatores que influenciam na cor de filés de peito de frango.** Revista Nacional da Carne, São Paulo, v. 25, n. 289, p. 44-49, 2001.

PEDRERO F., D. L.; PANGBORN, R. M. **Evaluación sensorial de los alimentos: métodos analíticos.** México DF: Alhambra Mexicana. 1989. 251 p.

Rondán-Sanabria, F. Finardi-Filho, F. **Physical-chemical and functional properties of macaroot starch (*Lepidium meyenii* Walpers).** Food Chemistry. 2009.

SANDOVAL, M. et al. **Antioxidant activity of the cruciferous vegetable Maca (*Lepidium meyenii*).** Food Chemistry, v. 79, n. 2, p. 207-213, 21 december 2001.

SILVA, A.G. S. **Body composition and characteristics of carcass from lambs of different genotypes and ages at slaughter**, 1999. 54p. Report (Post Doctorate in Sheep Meat Production). Massey University, Palmerston North, 1999.

SILVA, J.A. **Tópicos da tecnologia de alimentos**. São Paulo: Varela, 2000.

TSAI, T.H.; TSAI, P.J.; SU, S.C. **Antioxidant and anti-inflammatory activities of several commonly used spices**. Journal of Food Science, v.70, n.1, p.93-7, 2005.

VALENTÃO, P. et al. **Antioxidative properties of cardoon (*Cynara cardunculus*L.) infusion against superoxide radical, hydroxyl radical, and hypochlorous acid**. Journal of Agricultural and Food Chemistry, v.50, n.17, p.4989-93, 2002.

VALENTOVÁK, et al. **The invitro biological activity of *Lepidium meyeri* extracts**. Cell Biol Toxicol. 2006.

ZAYAS, J. F. **Functionality of proteins in food**. Berlin: Springer, 1997.

## CARACTERIZAÇÃO DA GELATINA OBTIDA DA PELE DE TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*)

### **Bárbara de Sena Nunes Menezes**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
(UTFPR), Departamento de Engenharia e  
Tecnologia de Alimentos  
Campo Mourão – PR

### **Beatriz Helena Paschoalinotto**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
(UTFPR), Departamento de Engenharia e  
Tecnologia de Alimentos  
Campo Mourão – PR

### **Camila da Silva Venancio**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
(UTFPR), Departamento de Engenharia e  
Tecnologia de Alimentos  
Campo Mourão – PR

### **Flávia Aparecida Reitz Cardoso**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
(UTFPR), Departamento de Engenharia e  
Tecnologia de Alimentos  
Campo Mourão – PR

### **Adriana Aparecida Droval**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
(UTFPR), Departamento de Engenharia e  
Tecnologia de Alimentos  
Campo Mourão – PR

### **Renata Hernandez Barros Fuchs**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
(UTFPR), Departamento de Engenharia e  
Tecnologia de Alimentos  
Campo Mourão – PR

### **Pâmela da Silva Souza**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

(UTFPR), Departamento de Engenharia e  
Tecnologia de Alimentos  
Campo Mourão – PR

### **Natália da Silva Leitão Peres**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
(UTFPR), Departamento de Engenharia e  
Tecnologia de Alimentos  
Campo Mourão – PR

### **Maria Gabriella Felipe Silva**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
(UTFPR), Departamento de Engenharia e  
Tecnologia de Alimentos  
Campo Mourão – PR

### **Leila Larisa Medeiros Marques**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
(UTFPR), Departamento de Engenharia e  
Tecnologia de Alimentos  
Campo Mourão – PR

### **Larissa Correa**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
(UTFPR), Departamento de Engenharia e  
Tecnologia de Alimentos  
Campo Mourão – PR

### **Lucas Shinti Iwamura**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
(UTFPR), Departamento de Engenharia e  
Tecnologia de Alimentos  
Campo Mourão – PR

**RESUMO:** A aquicultura brasileira tem como uma de suas protagonistas a tilápia do Nilo

(*Oreochromis niloticus*) e seu processamento resulta em mais da metade de seu peso como coproduto. Dentre estes, está a pele de tilápia, que possui alta qualidade nutricional, além de ser uma fonte de obtenção de gelatina. O presente trabalho apresenta a caracterização de extração de gelatina da pele residual do processamento de tilápia. A pele foi submetida a tratamentos com Butanol (15%), Ácido Acético (0,8%) e Ácido Clorídrico (0,8%). A proporção dos reagentes utilizados em cada tratamento foi realizada segundo delineamento experimental simplex-centroide ( $2^p - 1$ ). O material resultante foi submetido à caracterização (pH, cor, transparência e força de gel). De acordo com os resultados, foi possível extrair da pele de tilápia gelatina de cor levemente amarelada, tendo um resultado satisfatório. A força de gel do ponto central não apresentou diferença significativa quando comparada com a gelatina comercial. Todas as mensurações de pH estão abaixo do ponto isoelétrico característico de uma gelatina tipo A. A aplicação do butanol influencia na reestruturação dos polímeros no processo da geleificação, o que inviabiliza seu emprego na maior proporção utilizada neste delineamento que foi de 50%.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tilápia, gelatina, caracterização, força de gel.

**ABSTRACT:** Brazilian aquaculture has as one of its protagonists the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), its processing results in more than half of its weight as a co-product. Among these is the skin of tilapia, which has high nutritional quality, besides being a source of obtaining gelatine. This work presents the characterization of extracting gelatine from the residual skin of tilapia processing. The skin was subjected to treatments with Butanol (15%), Acetic Acid (0.8%) and Hydrochloric Acid (0.8%). The proportion of the reagents used in each treatment of the experimental design was simplex-centroid ( $2^p - 1$ ). The resulting material was subjected to characterization (pH, color, transparency and gel strength). According to the results, it was possible to extract from the skin of tilapia light yellowish gelatine, having a satisfactory result. The gel strength of the central point presented no significant difference when compared with the commercial gelatine. All pH measurements are below the isoelectric point characteristic of gelatine type A. The application of butanol influences the restructuring of the polymers in the gelation process, which makes it impossible to use them in the largest proportion used in this experimental design which was 50%.

**KEYWORDS:** Tilapia, gelatin, characterization, gel strength.

## 1 | INTRODUÇÃO

A indústria de pescado é responsável por gerar uma grande quantidade de subprodutos, dentre eles a pele do peixe, pois somente 30% dos produtos são usados como filé, implicando como um problema para esse tipo de indústria devido à falta de reconhecimento destes subprodutos como matéria-prima (BANDEIRA, 2009). Uma das formas de aproveitar os resíduos do processamento da tilápia é pela produção de gelatina, um produto que possui diversas aplicações tecnológicas. Ela é produzida a

partir da desnaturação do colágeno, e seu conteúdo de proteínas varia entre 85% e 92% (SOUZA FILHO et al., 2012). Na indústria alimentícia, sua aplicabilidade se dá como ingrediente para aumentar a elasticidade, consistência, melhorar textura, para conferir estabilidade de alimentos e enriquecer o seus conteúdos proteicos, sendo que suas características e propriedades funcionais são dadas de acordo com a severidade do tratamento de extração. Funcionam também como um filme contra a desidratação, luz e oxigênio (TAVAKOLIPOUR, 2011; MONTERO et al., 2002).

Segundo a Silva (2016) e *Food Ingredients Brasil* (2013) para aplicações alimentares a principal propriedade das gelatinas é a força do gel ou bloom, onde a mesma serve para determinar a concentração necessária para produzir uma depressão na superfície da gelatina para que a dureza de gel desejada seja atingida, seguidas dos pontos de gelificação e fusão, pois para Cho et al. (2004) estas propriedades são determinadas pelas proporções dos aminoácidos prolina e hidroxiprolina no colágeno e pela massa molar. Cole (2012) e Schmitz et al. (2013) afirmam que a coloração da gelatina não influencia nas suas propriedades funcionais, entretanto, a clareza da gelatina é uma propriedade desejável e importante para a sua aplicação. A gelatina é levemente amarela ao bronzeado claro (GMIA, 2013).

Portanto, o presente trabalho teve por objetivo realizar a caracterização da gelatina proveniente de peles de tilápia do Nilo submetidas a diferentes tratamentos, tendo como variável a composição das soluções em que as peles foram submersas. Para isto, foram avaliados pH, cor e transparência e força do gel.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Material

As peles de tilápia (*Oreochromis niloticus*) foram gentilmente cedidas pelo Pesqueiro Belini, localizado no município de Peabiru, Paraná. Os reagentes químicos utilizados nas análises foram disponibilizados pelo Departamento Acadêmico de Alimentos, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR Câmpus Campo Mourão e os equipamentos para análise de força do gel, cor e mensuração de pH foram disponibilizados pelo Departamento de Pós-graduação da UTFPR Câmpus Campo Mourão.

### 2.2 Elaboração Da Gelatina

Os reagentes utilizados para elaboração da gelatina foram: butanol 15% ( $C_4H_9OH$ ), ácido clorídrico (HCl) 0,8% e ácido acético ( $CH_3COOH$ ) 0,8%. A proporção dos reagentes utilizados em cada tratamento do delineamento experimental simplex-centroide ( $2^p - 1$ ) é mostrada na Tabela 1.

Em balança analítica (Marte AD500), pesou-se 300 g de pele com escamas em

um béquer de 2 L. Em seguida, as peles foram submersas em 1 L de suas respectivas misturas propostas na tabela 1 por 6 h. Após esse período, descartou-se a mistura e as peles foram suspensas em peneira de aço inox e lavadas com 2 L de água. Retirou-se o máximo de escamas possíveis durante essa lavagem. Posteriormente, para o processo de extração, 405 mL de água destilada foram adicionados a um béquer de 2 L contendo as peles tratadas e mantido em banho termostático a 65 °C, sob agitação, por mais 6 h. Ao fim da etapa da extração, os sólidos foram separados do sobrenadante por um processo de dupla filtragem. O sobrenadante era depositado em recipientes de plástico, previamente identificados com o número correspondente a sua composição, cobertos com plástico filme e colocados na geladeira para gelatinização por um período de 12 a 54 h. Posteriormente, as gelatinas foram cortadas, colocadas em formas de silicone e secas em estufa (CIENLAB-CE-205/81) com circulação de ar a 65 °C por 12 a 30 h.

Tratamentos	$C_4H_9OH$ Butanol	$CH_3COOH$ Ácido Acético	HCl Ácido Clorídrico
1	0,000	0,000	1,000
2	0,000	1,000	0,000
3	0,500	0,000	0,500
4	0,500	0,500	1,000
5	0,000	0,500	0,500
6	0,250	0,750	0,000
7	0,250	0,000	0,750
8	0,500	0,250	0,250
9	0,250	0,375	0,375
9.1	0,250	0,375	0,375
9.2	0,250	0,375	0,375

Tabela 1. Tratamentos propostos para otimização da gelatina extraída de coproduto de Tilápia do Nilo.

### 2.3 Cor, Transparência e pH

A análise colorimétrica e de transparência ocorreram por absorvância em espectrofotômetro (Ocean Optics USB650 UV) a 450 e 620 nm, respectivamente, a partir de uma solução de gelatina 6,67% (p/v) entre 55 °C e 60 °C. Por meio da mesma solução foi possível a mensuração do pH, realizado com o uso do pHmetro (Gehaka PG 2000).

### 2.4 Bloom ou Força do Gel

A força de gel foi medida a partir de uma solução a 6,67% (p/v) de gelatina a 10 °C, em texturômetro com probe de 12,7 mm, segundo a metodologia descrita pelo GMIA (2013). A medida foi realizada em quintuplicata.

## 2.5 Modelo e análise estatística

Para a determinação das variáveis-resposta utilizou-se o planejamento simplex-centroide ( $2^p - 1$ ) com três componentes e duas repetições no ponto central. A análise estatística foi realizada a partir do teste Tukey com intervalo de 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ). Ambas as avaliações foram desenvolvidas no software Statística 10.0 (NETO; BRUNS; SCARMINIO, 2010).

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 2 apresenta as médias das análises realizadas, seus respectivos desvios padrões e a diferença estatística entre os tratamentos aplicados. Não foi possível o desenvolvimento do modelo cúbico especial, pois alguns tratamentos (3, 4 e 8) não formaram géis, o que impossibilitou a modelagem. Portanto, apenas discutiu-se baseado nas diferenças significativas.

Tratamentos	Abs. (450 nm) **	Abs. (620 nm) **	Força do gel (g)	pH
1	0,0087 <sup>ef</sup> ±0,0002	0,0049 <sup>d</sup> ±0,0001	20,00 <sup>c</sup> ±0,3	5,26
2	0,0065 <sup>bg</sup> ±0,0001	0,0033 <sup>efg</sup> ±0,0001	21,30 <sup>c</sup> ±0,9	5,56
3	0,0030 <sup>d</sup> ±0,0001	0,0014 <sup>c</sup> ±0,0001	não gelatinizou	5,82
4	0,0036 <sup>cd</sup> ±0,0000	0,0017 <sup>c</sup> ±0,0000	não gelatinizou	5,91
5	0,0101 <sup>e</sup> ±0,0001	0,0062 <sup>b</sup> ±0,0001	24,40 <sup>c</sup> ±0,3	5,50
6	0,0128 <sup>a</sup> ±0,0006	0,0081 <sup>a</sup> ±0,0003	353,20 <sup>a</sup> ±5,6	5,22
7	0,0088 <sup>ef</sup> ±0,0001	0,0048 <sup>d</sup> ±0,0001	353,00 <sup>a</sup> ±1,3	5,47
8	0,0045 <sup>ch</sup> ±0,0000	0,0027 <sup>g</sup> ±0,0001	não gelatinizou	5,94
9	0,0064 <sup>gh</sup> ±0,0006	0,0029 <sup>fg</sup> ±0,0001	88,90 <sup>b</sup> ±0,6	5,63
9.1	0,0079 <sup>bf</sup> ±0,0001	0,0042 <sup>de</sup> ±0,0001	88,60 <sup>b</sup> ±0,9	5,62
9.2	0,0063 <sup>gh</sup> ±0,0003	0,0037 <sup>ef</sup> ±0,0004	86,70 <sup>b</sup> ±0,9	5,63

**Tabela 2.** Médias das análises de cor objetiva por absorvância (Abs.), força do gel e pH obtidas por diferentes tratamentos das peles de Tilápia do Nilo.

\* Médias na mesma coluna, seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 5%.

\*\* Valores em decimais correspondentes aos valores obtidos em cada comprimento de onda pelo espectrofotômetro.

### 3.1 pH

Existem dois tipos de gelatina, sendo elas A e B, as mesmas são diferenciadas por seus respectivos tratamentos. Gelatinas obtidas por tratamento ácido são designadas do tipo A, enquanto que as do tipo B são as obtidas por tratamento alcalino (SILVA et al., 2016). Como as peles de pescados apresentam um número reduzido de ligações

químicas, dispensa-se a necessidade do uso de um pré-tratamento alcalino intenso e longo, então, um tratamento ácido em menor tempo é suficiente para que o colágeno possa ser dissolvido em água quente (COLE, 2012).

O pH pode ser usado para controlar a força do gel, o qual é dependente do ponto isoelétrico (SEE et al., 2013). Bandeira (2009) relatou que a gelatina tipo A, tem ponto isoelétrico que pode variar de 6,5 a 9,0.

Os valores estão abaixo da faixa do ponto isoelétrico, mas um pouco acima dos encontrados em outros trabalhos (SOUZA FILHO et al., 2012; BANDEIRA, 2009), pois estes reportam valores de pH de dentro da faixa de 3,5 a 5,3 para gelatinas processadas por pré-tratamento ácido. Para Silva (2016) e *Food Ingredients Brasil* (2013) em pHs abaixo do ponto isoelétrico a gelatina tem carga resultante positiva, sendo assim, quando a mesma é misturada com outros hidrocoloides de carga oposta, o resultado pode ser a neutralização destas cargas ou separação de fases, também chamada de coacervação.

### 3.2 Cor e Transparência

O maior desafio com a medição espectrofotométrica da cor da gelatina é a interferência do tamanho molecular da gelatina e da filtração imperfeita, pois a dispersão de luz se torna variável em função dos dois fatores citados, uma vez que a cor é o resultado da luz absorvida sobre o espectro visível. A intensidade da cor da gelatina deve ser melhor relacionada à absorbância a 400-450 nm. Ainda, estes autores confirmaram que as gelatinas mais escuras têm uma absorbância maior a 700 nm e a 400-450 nm (COLE; ROBERTS, 1997).

Segundo Atkins (2006), a cor percebida de um complexo, sob luz branca, é a cor complementar da luz que ele absorve. Na roda de cores mostrada na figura 1, as cores complementares estão em posições opostas. Portanto, a finalidade da análise de absorbância a 450 nm era visualizar a cor e intensidade do amarelo característico de gelatinas, uma vez que, a cor complementar percebida nesse comprimento de onda é o amarelo, pois está em posição oposta a cor violeta. Os números representam comprimentos de onda aproximados, em nanômetros.

A absorbância medida das gelatinas obtidas neste trabalho, no comprimento de onda de 450 nm, variou de 0,303 a 1,280, apresentando diferença significativa entre si. Sendo que, menores valores de absorbância se relacionam com gelatinas mais claras e maiores valores, gelatinas mais escuras; portanto, a mais clara foi o tratamento 3 e as mais escuras foram os tratamentos 5, 6 e 7, confirmadas por análise visual. Essa diferença de absorbância entre os tratamentos quando analisados para o comprimento de onda a 450 nm, relaciona-se com a filtragem manual e desigual que ocorreu após as extrações de gelatina.

Os valores para absorbância a 620 nm apresentaram grandes diferenças entre si, determinados em uma ampla faixa de 0,145 a 0,814. Cole e Roberts (1997) afirmam

que a gelatina não absorve luz em comprimentos de onda em torno de 640 nm e, portanto, qualquer absorbância observada deve ser em função da dispersão da luz devido à imperfeição da claridade ou sujidades, portanto, essa ampla faixa encontrada deve ser associada à pureza, de tal forma que um menor valor de absorbância apresenta maior pureza do que os valores mais altos para absorbância. Souza Filho et al. (2012) encontraram o valor de 0,35 de absorbância no comprimento de onda de 620 nm, indicando uma boa pureza, fundamentando que o valor da transparência indica a quantidade de luz incidente absorvida, e que, quanto maior a pureza, menor a absorção de luz.

Nota-se que não houve repetibilidade das absorbâncias em ambos os comprimentos de onda nas repetições do ponto central, o que reforça a interferência da filtragem imperfeita, ou seja, a filtragem não ter ocorrido de forma igual para todas as repetições, já que essa etapa compreendia em uma filtragem dupla manual.

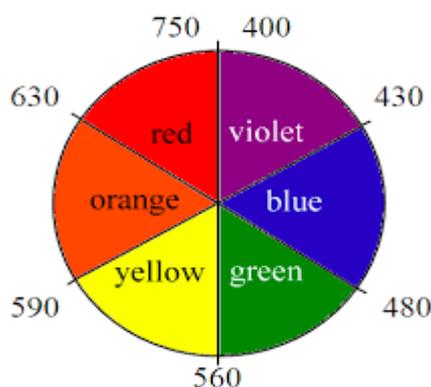


Figura 1. Representação da cor pelo comprimento de onda (nm).

Fonte: ATKINS, 2006.

### 3.3 Força do Gel ou Bloom

A formação do gel ocorre devido a pontes de hidrogênio que fazem com que as moléculas de gelatina se agrupem em micelas, formando um produto semi-sólido que se liga com água (ALFARO; SILVA, 2010). A estrutura de rede e as propriedades físicas dos géis são dadas pelas condições de extração da gelatina (SOUZA et al., 2003).

As gelatinas obtidas neste trabalho unicamente por tratamentos ácidos contaram com um gel mais fraco, como no caso dos tratamentos 1 e 2, os quais não apresentaram diferença significativa entre si. Segundo Bandeira (2009) provavelmente esta redução foi devido a uma maior taxa de hidrólise do colágeno proporcionada pelo pH baixo do meio. As maiores forças de gel foram encontradas nas gelatinas submetidas aos tratamentos 6 e 7. Nos tratamentos 3,4 e 8 houve a adição de 50% de butanol e isso implicou em uma não gelatinização quando as amostras foram reincorporadas na proporção sugerida na metodologia de GMIA (2013). Durante o tempo de maturação

as gelatinas submetidas aos tratamentos 3, 4 e 8 tiveram um prolongamento no tempo de maturação devido a dificuldades técnicas encontradas. Para Alfaro e Silva (2010) o fortalecimento do gel durante a maturação é principalmente atribuído à regeneração da estrutura helicoidal pelas cadeias polipeptídicas do colágeno e à formação de ligações de hidrogênio entre os aminoácidos hidroxilados e as moléculas de água. Segundo Arnesen e Gildberg (2007) quando há o prolongamento desse período, acompanhado de temperatura e pH satisfatórios, pode ocorrer um aumento da força do gel.

As gelatinas comerciais têm força de gel de até 300g. No ponto central (tratamento 9), não houve diferença significativa e a força do gel apresentou-se dentro dos parâmetros de uma gelatina comercial e inferior aos resultados encontrados nos estudos de Jamilah e Harvinder (2002) que obtiveram para tilápia negra e vermelha forças de gel de 180,76g e 128,11g. Essa variação na força do gel pode ser explicada por diferenças entre os processos de obtenção da gelatina e o conteúdo de aminoácidos (prolina e hidroxiprolina) de espécies de pescado.

#### 4 | CONCLUSÃO

Todas as mensurações de pH estão abaixo do ponto isoelétrico característico de uma gelatina tipo A. Não houve modificação na variação do pH com a utilização do butanol, portanto as gelatinas obtidas no estudo são tipo A independentemente da quantidade do solvente não ácido aplicado.

Este trabalho contribuiu para um estudo da cor empregando-se o espectrofotômetro, já que poucos trabalhos utilizaram essa informação, pois, normalmente o estudo da cor é feito por meio de colorímetro. Neste trabalho, as gelatinas apresentaram-se levemente amarelada para todas as gelatinas, algumas com uma cor mais escura devido à alta absorvância (tratamentos 5, 6 e 7) e outras mais claras (tratamento 3), já que todas as gelatinas submetidas a análise absorveram a cor azul no comprimento de onda de 450 nm.

As absorvâncias das gelatinas com comprimento de onda igual a 620 nm apresentaram diferença significativa, pois a estruturação das mesmas, com diferentes quantidades de ácidos acético e clorídrico e butanol utilizados, geraram estruturas moleculares diferentes, mesmo nas gelatinas submetidas às permutações entre os reagentes. Portanto o valor da transparência indica o grau de pureza, que é a quantidade de luz incidente absorvida, e que, quanto maior a pureza, menor a absorção de luz. A gelatina com melhor pureza foi a do tratamento 3.

A aplicação do butanol influencia na reestruturação dos polímeros no processo da geleificação, o que inviabiliza seu emprego na maior proporção utilizada neste delineamento que foi de 50%.

O uso exclusivo de ácido acético ou clorídrico no tratamento da pele não é viável, uma vez que as gelatinas obtidas dessa maneira apresentaram uma baixa força do gel

em relação às gelatinas que tiveram tratamento com permutação de pelo menos dois dos reagentes utilizados neste delineamento, resultando em uma gelatina com força de gel de até 353g (tratamento 6 e 7).

## REFERÊNCIAS

- ALFARO, A. T.; SILVA, E. F. Propriedades reológicas da gelatina obtida de pele de tilápia (*Oreochromis niloticus*). **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 69, n. 4, p. 555-561, 2010.
- ARNESEN J. A.; GILDBERG A. Extraction and characterization of gelatine from Atlantic salmon (*Salmo salar*). **Bioresource Technology**. v.2, p.98. 2007;
- ATKINS, P. W. **Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. Tradução Ricardo Bicca de Alencastro. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, p. 968. 2006.
- BANDEIRA, S. F. **Extração e caracterização da gelatina obtida de cabeças de carpa**. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos). Universidade Federal do Rio Grande Escola de Química e Alimentos, 2009.
- CHO, S. M.; KWAK, K. S.; PARK, D. C.; GU, Y. S.; JI, C. I.; JANG, D. H.; LEE, Y. B.; KIM, S. B. Processing optimization and functional properties of gelatin from shark (*Isurus oxyrinchus*) cartilage. **Food Hydrocolloids**, v. 18, p. 573-579, 2004.
- COLE, C. G. B. **Gelatine Clarity**. Dr. Bernard Cole's Home Page. 2012. Disponível em: <<http://www.gelatin.co.za/Gelatine%20Clarity..pdf>>. Acesso em 16 de jun. 2018.
- COLE, C. G. B.; ROBERTS, J. J. **Gelatine colour measurement**. Meat Science, v.45, n. 1, 1997. Disponível em: <<http://www.gelatin.co.za/cop6-ms.htm>> Acesso em: 09 de jun. 2018.
- FOOD INGREDIENTS BRASIL**. Gelatina um agente gelificante único e natural: gelatina tipo a e tipo b. **www.Revista-fi.com**, São Paulo, v. 1, n. 27, p.43-47, ago. 2013.
- GMIA. Gelatin Manufacturers Institute of America. **Standard methods for the testing of edible gelatin**. 2013. Disponível em: <[http://www.gelatin-gmia.com/images/GMIA\\_Official\\_Methods\\_of\\_Gelatin\\_Revised\\_2013.pdf](http://www.gelatin-gmia.com/images/GMIA_Official_Methods_of_Gelatin_Revised_2013.pdf)>. Acesso em: 17 de jun. de 2018.
- JAMILAH B.; HARVINDER K. G. Properties of gelatins from skins of fish: black tilápia (*Oreochromis mossambicus*) and red tilápia (*Oreochromis nilotica*). **Food Chemistry**. v. 4, p. 77, 2002.
- MONTERO, P. et al. Characterization of gelatin gels induced by high pressure. **Food Hydrocolloids**. v. 16, p. 197-205, 2002.
- SCHMITZ, V. U.; BANDEIRA, D. F.; ESQUERDO, V. M.; FEISTHER, V. A.; PINTO, L. A. A. Propriedades físicas de gelatina obtidas a partir de cabeças de corvina. **XIX Encontro de Pós-Graduação UFPEL**, 2013 Disponível em: <[www.ufpel.edu.br/cic/2010/cd/pdf/CA/CA\\_01545.pdf](http://www.ufpel.edu.br/cic/2010/cd/pdf/CA/CA_01545.pdf)>. Acesso em: 17 de jun. de 2018.
- SEE, S. F. et al. Effect of different pretreatments on functional properties of African catfish (*Clarias gariepinus*) skin gelatin. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 2, p. 753–762, 2013.
- SILVA, E. V. C. da et al. **Otimização das condições de extração da gelatina de pele de peixes amazônicos por diferentes métodos**. 106 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos)- Universidade Federal do Pará, 2016.

SOUZA FILHO, M. S. M. de, et al. Obtenção e Caracterização de Gelatina de Pele de Tilápia. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 64. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Agroindústria Tropical Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Embrapa. Brasília, DF, 2012.

SOUZA, M. L. R. et al. Análise da Pele de Três Espécies de Peixes: Histologia, Morfometria e Testes de Resistência. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 32, n. 6, p. 1551-1559, 2003.

TAVAKOLIPOUR, H. Extraction and evaluation of gelatin from silver carp waste. **World Journal of Fish and Marine Sciences**, v. 3, n. 1, p. 10-15, 2011.

## PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE MICROCÁPSULAS POLI (UREIA-FORMALDEÍDO) PREENCHIDAS COM ÓLEO DE SILICONE COMO INIBIDOR DE CORROSAO PARA APLICAÇÃO EM TINTAS

**Renata França Palhano**

Centro Universitário Sociesc, Departamento de Engenharia Química  
Joinville, Santa Catarina

**Rogério Gomes de Araújo**

Centro Universitário Sociesc, Departamento de Engenharia Química  
Joinville, Santa Catarina

**RESUMO:** As microcápsulas poliméricas que contêm agentes inibidores de corrosão, têm sido exploradas por vários grupos de pesquisa visando a incorporação em tintas protetivas para torná-las auto-regenerativas. O uso de microcápsulas em tintas proporciona aumento da vida útil de máquinas e utensílios metálicos, além de contribuir para diminuir o número de manutenções em processos industriais, o que reflete em uma redução de gastos não planejados. Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de microcápsulas de poli(ureia-formaldeído), PUF, contendo dimetilsiloxano (óleo de silicone) como agente inibidor de corrosão para aplicação como aditivo auto-reparador em tintas protetivas à base de solvente, por meio do método de polimerização in situ. Diversas bateladas do processo foram realizadas utilizando diferentes parâmetros de processo incluindo a velocidade de agitação, o teor de agente emulsificante e

do óleo de silicone, como também a realização de uma lavagem das microcápsulas, para retirar o óleo da parte externa da mesma. A integridade das microcápsulas foi avaliada por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e o teor de óleo encapsulado foi determinado por análise termogravimétrica (TG). Os resultados mostraram que foi possível encapsular o dimetilsiloxano, óleo de silicone, já que a análise térmica apresentou uma perda de massa de 55% de silicone, assim como foi possível observar que os parâmetros do processo afetam diretamente na quantidade de microcápsulas produzidas.

**PALAVRA-CHAVE:** Microencapsulas. Óleo de Silicone. Auto-reparação.

### PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF MICROCAPSULES POLY (UREIA-FORMALDEHYDE) FILLED WITH SILICONE OIL AS CORROSION INHIBITOR FOR APPLICATION IN PAINTINGS

**ABSTRACT:** Polymeric microcapsules contains corrosion inhibitors agents have been exploited by various research groups and incorporated into prototypes to render them self-regenerating. The use of microcapsules in paints increases the useful life of metallic machines and utensils,

and contributes to reduce the number of maintenance in industrial processes, which reflects in a reduction of unplanned expenses. This work aims at the development of microcapsules of poly (urea-formaldehyde), PUF, containing dimethylsiloxane (silicone oil) as a corrosion inhibiting agent for application as a self-repairing additive in solvent-based protective paints by means of the method of in situ polymerization. Various process batches were carried out using different process parameters including the stirring speed, the emulsifying agent content and the silicone oil, as well as performing a washing of the microcapsules, to remove the oil from the outside of the same. The integrity of the microcapsules was evaluated by scanning electron microscopy (SEM) and the encapsulated oil content was determined by thermogravimetric (TG) analysis. The results showed that it was possible to encapsulate dimethylsiloxane, silicone oil, since the thermal analysis presented a mass loss of 55% of silicon, as well as it was possible to observe that the process parameters affect directly the amount of microcapsules produced.

## 1 | INTRODUÇÃO

A corrosão é um processo espontâneo, que provoca a deterioração de um material, geralmente metálico, o que representa alterações prejudiciais indesejáveis sofridas pelo objeto, tornando-o inadequado para o uso <sup>(09)</sup>.

Diante disso, os prejuízos decorrentes da corrosão atingem o mundo, nota-se que os custos da corrosão podem atingir de 3 a 4% do PIB (Produto Interno Bruto) do nosso país, e que mais de 20% destes custos possam ser evitados através da inserção de medidas e tecnologias de prevenção anticorrosiva <sup>(13)</sup>.

Os problemas que existem na aplicação da tinta em materiais metálicos e a forma com que através de um esforço mecânico a mesma, pode acabar expondo o material ao oxigênio vêm sendo uma preocupação recorrente, dessa forma, o desenvolvimento de um material polimérico que apresenta um grande potencial para prolongar o efeito de proteção contra a corrosão, pode ser incorporado em tintas <sup>(4)</sup>.

O método de polimerização in situ de uma emulsão água em óleo de poli(ureia-formaldeído), PUF, apresenta elevados rendimentos, como também facilidade de preparação <sup>(3)</sup>. A seleção apropriada de parâmetros no processo de síntese de microcápsulas como o pH, temperatura, tipo e concentração de surfactante e velocidade de agitação, podem influenciar nas características e propriedades da autorreparação da matriz epoxídica <sup>(16)</sup>.

Embora os trabalhos expostos por diferentes autores abordarem separadamente algumas variáveis no processo de preparação das microcápsulas, não há um estudo sistemático dos efeitos da alteração de parâmetros na preparação de microcápsulas preenchidas com dimetilsiloxano, óleo de silicone, bem como a lavagem das microcápsulas depois de produzidas, com o intuito de retirar o óleo que fica na parte externa das microcápsulas.

Sendo assim, este trabalho teve como objetivo analisar a combinação dos seguintes parâmetros de síntese de microcápsulas de PUF: Determinação da temperatura, tempo reacional, teor de agentes emulsificantes e teor do óleo de silicone. Assim como, a verificação da distribuição granulométrica das microcápsulas, quantidade de óleo encapsulado e a avaliação da integridade das mesmas, através da sua caracterização após o processo de lavagem.

## 2 | REVISÃO TEÓRICA

### 2.1 Corrosão

Segundo Gentil (2001) a corrosão pode ser definida como a degradação de um material, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos.

Existem diversos métodos para combater a corrosão, o método considerado um dos melhores é a utilização de inibidores, os quais podem reduzir ou até eliminar a corrosão <sup>(10)</sup>.

Inibidores podem ser classificados em anódicos, catódicos e de adsorção. Desse modo, os inibidores de adsorção que foram utilizados neste trabalho, funcionam como películas protetoras, as quais, são afetadas por diversos fatores como a velocidade, volume e concentração, temperatura do sistema, tipo do inibidor, superfície e a composição do fluido do sistema <sup>(09)</sup>.

No entanto, esses inibidores podem ser encapsulados em micropartículas poliméricas e serem empregados de diversas formas, dentre elas em tintas protetivas sem afetar composição da mesma <sup>(09)</sup>.

Os inibidores de corrosão aplicados em tintas funcionam como uma barreira física entre o metal e o meio corrosivo em que ajuda a prevenir e/ou evitar a corrosão das peças. Assim os revestimentos vêm se tornando indispensáveis à proteção dos metais, que devem passar a ser considerada parte da composição da superfície do metal, e não um detalhe final do acabamento <sup>(10) (06)</sup>.

#### 2.1.1 Óleo de Silicone como inibidor de corrosão

O Silicone foi identificado como um polímero de alto desempenho o qual atualmente correspondem aos polidialquilsiloxanos, de acordo com a fórmula representada na Figura 1 <sup>(08)</sup>.

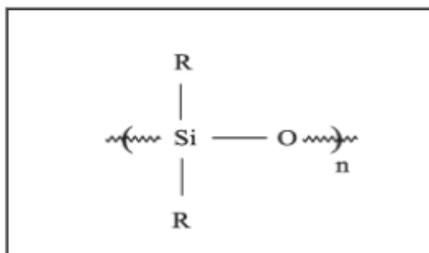


Figura 1: Apresenta a estrutura do polidialquilsiloxanos

Fonte: (GARCIA, 2004).

A estrutura mostra que, o R é o radical metila, em que é conhecido como polidimetilsiloxano. Diante disso, os radicais metilas da cadeia podem ser substituídos por vários outros grupos (por exemplo, fenil ou vinil) <sup>(08)</sup>.

A presença simultânea de grupos “orgânicos” ligados a uma coluna “inorgânica” proporciona aos silicões uma combinação única de propriedades e permite a sua utilização em campos tão diferentes como aeroespacial (desempenho sob-baixas e altas temperaturas) <sup>(08)</sup>.

Entretanto, com os grupos metilas mostrados para fora, a película de silicone é bastante hidrofóbica e proporciona uma superfície com boas propriedades de libertação, em particular, se a película for curada após a aplicação <sup>(11)</sup>.

Os silicões são utilizados na indústria da construção para acabamentos que proporcionam uma película protetora. Seu sucesso está conectado à sua excelente resistência ao intemperismo: baixa reatividade dos grupos funcionais frente ao ar poluído ou água e a natureza hidrofóbica <sup>(07)</sup>.

## 2.2 Microcápsulas poliméricas

A tecnologia da microencapsulação é utilizada em diversas indústrias. Na indústria química sua maior aplicação é no desenvolvimento de materiais autorregeneráveis que oferecem um enorme potencial para reparação de danos, por proporcionar a capacidade de cura autônoma <sup>(14)</sup>.

Segundo Silva et al (2003) as micropartículas são pequenas partículas sólidas e esféricas com tamanho que varia entre 1 e 1000  $\mu\text{m}$ . Subdividem-se em microcápsulas e em microesferas.

Esses materiais segundo Nesterova et al (2012), agem da seguinte forma, quando se rompem, devido a tensão interna ou danos físicos, propagados através do revestimento, liberam agentes inibidores ou de cura, que seguem o plano de fratura devido as forças capilares. Os agentes quando em contato com superfície metálica reagem (no caso dos agentes de cura) criam uma camada na espécie de filme, que protege a área danificada contra corrosão.

O esquema de rompimento das cápsulas e vazamento de agentes inibidores ou de cura pode ser visualizado na Figura 2 demonstrada a seguir.

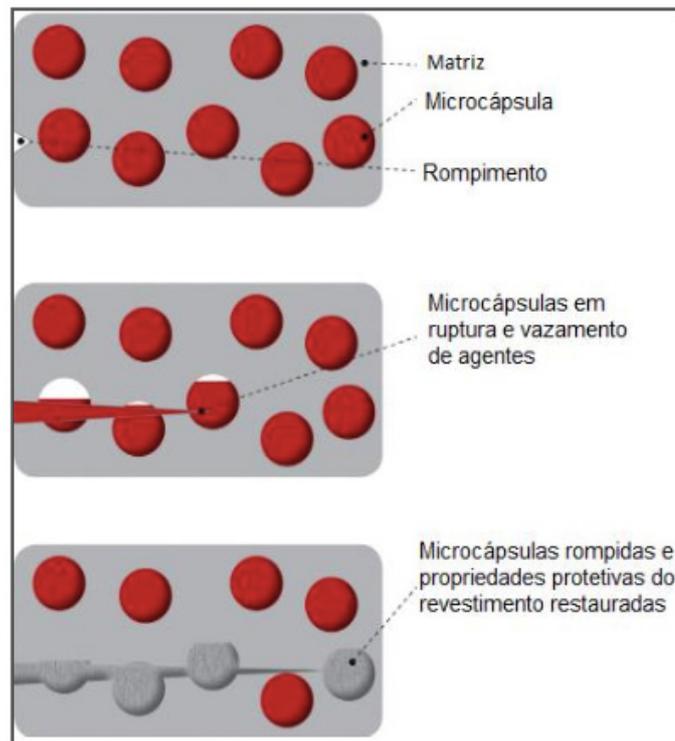
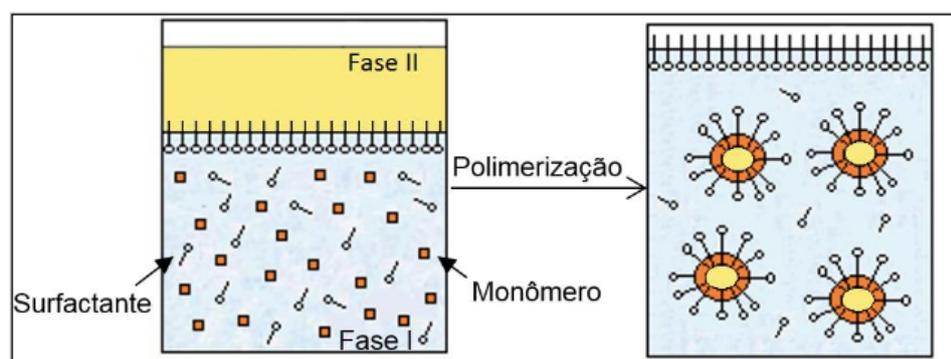


Figura 2: Demonstração da ação das microcápsulas poliméricas quando rompidas

Fonte: Adaptado de Di Credico et al, 2013.

O processo de microencapsulação pode ocorrer por duas maneiras. A primeira trata do processo onde reações químicas ocorrem entre os constituintes da emulsão para dar origem a microesfera, e a segunda em que apenas fenômenos físicos são os responsáveis pela formação das microcápsulas, sem existir reação química.

Os líquidos podem ser encapsulados através de polimerização por separação de fase, onde os monômeros e o líquido a ser encapsulado formam uma mesma mistura e são emulsionados em água. Conforme demonstrado pela Figura 3, em que a fase II é agente inibidor de corrosão e a fase I é onde se localiza o monômero disperso na água, onde posterior a polimerização, o polímero obtido, que é imiscível com a fase dispersa, separa-se da fase aquosa depositando-se na superfície da gotícula de óleo, encapsulando-a <sup>(15)</sup>.



Brown et al., 2003, abordaram a obtenção de microcápsulas a partir do método químico de polimerização de ureia-formaldeído para construir as paredes das cápsulas.

O diâmetro médio da microcápsula é controlado pela velocidade de agitação. À medida que a velocidade de agitação é aumentada, uma emulsão mais fina é obtida e o diâmetro médio da microcápsula diminui. Microcápsulas com diâmetro médio por volta de 10-1000 nm são obtidos ajustando velocidade de agitação entre 200-2000 rpm. O desvio padrão é menos do que 35% do valor médio do diâmetro das microcápsulas produzidas <sup>(1)</sup>.

### 2.3 Poli (Ureia-formaldeído)

As resinas de Ureia-formaldeído são polímeros termofixos, insolúveis, infusíveis obtidos a partir da reação de apenas dois monômeros (ureia e formaldeído). As características básicas da PUF podem ser explicadas no nível molecular por sua alta reatividade, solubilidade em água, susceptibilidade à hidrólise das ligações aminometileno, especialmente em altas temperaturas <sup>(5)</sup>.

As resinas de ureia-formaldeído são comumente preparadas por duas etapas reacionais. Sendo a primeira etapa envolvendo a reação da ureia com o formaldeído sob condições neutras ou levemente alcalinas, levando a produção de mono e dimetilol ureias. A razão entre o composto mono e dimetilol dependerá da proporção de ureia para formaldeído <sup>(15)</sup>.

Sendo assim, se o produto do primeiro estágio contém ureia e formaldeído não reagidos, é submetido a condições ácidas em temperaturas elevadas seguindo a sequência de eventos durante o segundo estágio:

- a. A solução é produzida a partir da qual, foi resfriada, e um precipitado branco seria obtido.
- b. Como processo de aquecimento, a temperatura em que ocorre a precipitação decresce progressivamente até que a estabilização é alcançada e os produtos da condensação permanecem em solução a temperatura ambiente.
- c. Com um aquecimento adicional, há um aumento na viscosidade da calda, para um gel insolúvel e irreversível, que, eventualmente, se converte a uma massa dura, incolor, transparente e infusível <sup>(2)</sup>.

Depois de reticulada, a resina de ureia-formaldeído resulta em uma rede tridimensional que não pode ser mais solubilizada em água <sup>(5)</sup>. A reação de formação de poli (ureia-formaldeído) é demonstrada na Figura 8.

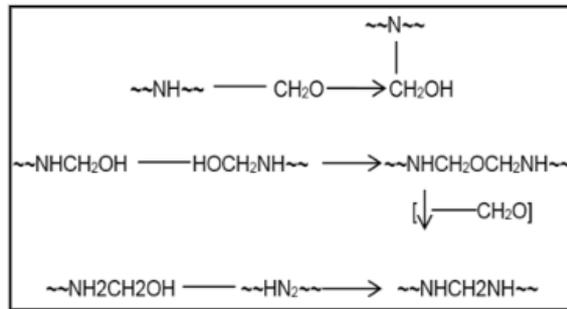


Figura 8 - Demonstração da reação de Poli (ureia-formaldeído)

Fonte: BRYDSON, (2000).

Contudo, a ureia é uma substância que possui um baixo custo, assim como o formaldeído. Dessa forma, oferecem uma resina relativamente barata e de alto desempenho <sup>(5)</sup>.

### 3 | EXPERIMENTAL

#### 3.1 Materiais

Para a realização dos experimentos foram utilizados como reagentes: Uréia (Dinâmica), formalina - 37% de formaldeído em água (Dinâmica), cloreto de amônio (Dinâmica), Resorcinol (Dinâmica) e Surfactante Tween 80 (Vetec).

O óleo de silicone utilizado foi fornecido pela Bluestar Silicones de nome comercial Mirasil® DM 350 Silicone, o qual apresenta uma viscosidade cinemática de 350 mm<sup>2</sup>/s a 25°C.

#### 3.2 Método

A técnica utilizada para preparação de microcápsulas por polimerização in situ de uma emulsão de água e óleo foi baseada nos trabalhos de BROWN e colaboradores <sup>(1)</sup>.

##### 3.2.1 Processo de polimerização

As reações foram realizadas em um balão de três bocas com fundo redondo de 500 mL, no qual foi adicionado 250 mL de água deionizada e misturado um volume que varia entre 1,5 e 2,0 mL de agente emulsificante, Tween 80.

O balão de fundo redondo foi suspenso em um banho-maria com temperatura entre 20-24 °C. Logo após isso, a solução foi submetida à agitação com o auxílio de um agitador mecânico, modelo MA039 com velocidade de agitação de aproximadamente 550 rpm, e nessa solução foram adicionados 5,00 g de ureia, 0,50 g de cloreto de amônio (catalisador) e 0,50 g de resorcinol. Sendo que, ambos foram dissolvidos

na solução. O pH foi corrigido para 2,5 adicionando uma gota de ácido clorídrico concentrado, este foi controlado por um pHmetro.

Após a estabilização do meio reacional, foi acrescentado lentamente o inibidor de corrosão, sendo ele o óleo de silicone (dimetilsiloxano), variando o volume entre 10 e 25 mL, este foi acrescido para formar uma emulsão e após 10 minutos de agitação para estabilização, 11,5 mL de solução aquosa a 37% de formaldeído foram adicionadas para obter uma relação molar de uréia:formaldeído de 1:1,9. Diante disso, a emulsão foi aquecida a uma taxa de aquecimento de 1°C.min<sup>-1</sup> até atingir uma temperatura próxima de 55 °C.

Após 4 horas de agitação contínua, o misturador e o aquecimento foram desligados. A solução contendo as microcápsulas foi resfriada até atingir a temperatura ambiente e filtrada a vácuo com papel filtro faixa azul, para separação das microcápsulas do meio líquido. As microcápsulas foram lavadas com água deionizada e secas em estufa durante 48 h a 40 °C.

O rendimento do processo foi calculado, levando em consideração a razão entre a massa (g) das microcápsulas e massa total (g) de todos os reagentes envolvidos no processo exceto a água deionizada.

Foram preparadas três bateladas de microcápsulas sem a incorporação do óleo de silicone e dezesseis reações com o agente, em que oito dessas são duplicatas (quatro bateladas com 1,5 mL de Tween 80 e as outras quatro com 2,0 mL de Tween 80).

Durante a síntese das microcápsulas variou-se alguns parâmetros, sendo estes o teor de Tween 80 e o teor de dimetilsiloxano (óleo de silicone), porém conservou-se a velocidade de agitação, como apresenta a Tabela 2 a seguir.

Volume do óleo de silicone (mL)	Volume de Tween 80 (mL)	Velocidade de agitação (rpm)
10	1,5	550
15	1,5	550
20	1,5	550
25	1,5	550
10	2,0	550
15	2,0	550
20	2,0	550
25	2,0	550

Tabela 2: Variação de parâmetros durante a síntese das microcápsulas poliméricas

Fonte: Dos autores (2017)

### 3.2.2 *Proceso de lavagem das microcápsulas*

Após a preparação das microcápsulas poliméricas, oito das amostras foram lavadas com o uma solução 2% de Tween 80. As oito bateladas foram identificadas

e colocadas em béqueres separadamente para serem submetidas a uma agitação constante com o auxílio de um agitador magnético, durante 1 hora, em seguida as mesmas foram filtradas com papel filtro de faixa azul e lavadas com água deionizada, após isso foram secas em estufa a vácuo durante 48h a 50 °C.

### *3.2.3 Caracterização das microcápsulas*

A análise térmica de Termogravimetria (TG) foi realizada para determinar o teor de agentes inibidores contidos nas microcápsulas e a temperatura de degradação do polímero. A análise foi realizada em um equipamento da TA Instruments (modelo Q50), em que as amostras foram aquecidas da temperatura ambiente até 700°C com uma taxa de aquecimento de 10°C/min sob atmosfera de nitrogênio (40mL/min).

Por outro lado, foi realizada a análise de Microscopia eletrônica de varredura (MEV) para avaliar o aspecto, o diâmetro e a integridade das microcápsulas obtidas. Para realização das análises, amostras de microcápsulas foram previamente metalizadas com ouro e observadas em um microscópio eletrônico MEV-FEG modelo JSM-6701F, fabricado pela Jeol, pertencente ao laboratório de Microscopia Eletrônica da UDESC-Joinville.

## **4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Análise termogravimétrica**

Inicialmente realizou-se análise termogravimétrica de amostras de óleo de silicone de PUF de forma isolada. A Figura 9 apresenta o resultado da análise termogravimétrica do óleo de silicone, em que se observa que o silicone tem uma perda de massa entre 288 e 603 °C, resultante da degradação térmica do material. Observa-se também que a degradação foi completa, não restando nenhum resíduo ao final da análise.

Por sua vez, microcápsulas de PUF sem a presença de óleo de silicone encapsulado apresentaram duas perdas de massa na análise termogravimétrica, conforme mostrado na Figura 10.

A primeira perda de massa, entre a temperatura ambiente e 100°C é relativa à evaporação de substâncias voláteis como monômeros não reagidos e umidade. Já a segunda perda de massa, entre 198 e 405°C, é resultante da degradação térmica do polímero. Observa-se ainda a presença de um resíduo ao final da análise que pode ser atribuído a um material carbonáceo oriundo da degradação e a substâncias inorgânicas utilizadas na polimerização.

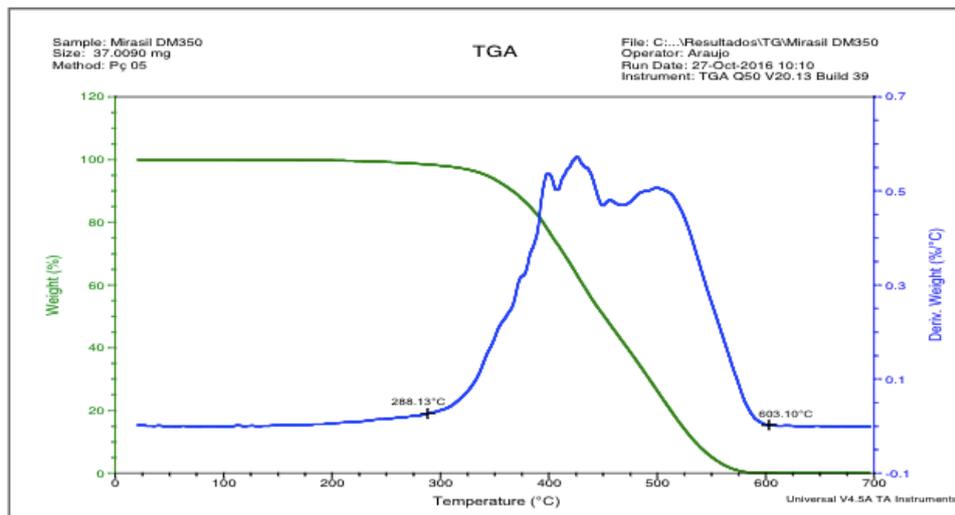


Figura 9- Análise de Termogravimetria (TG) do óleo de silicone

Fonte: Dos autores (2017)

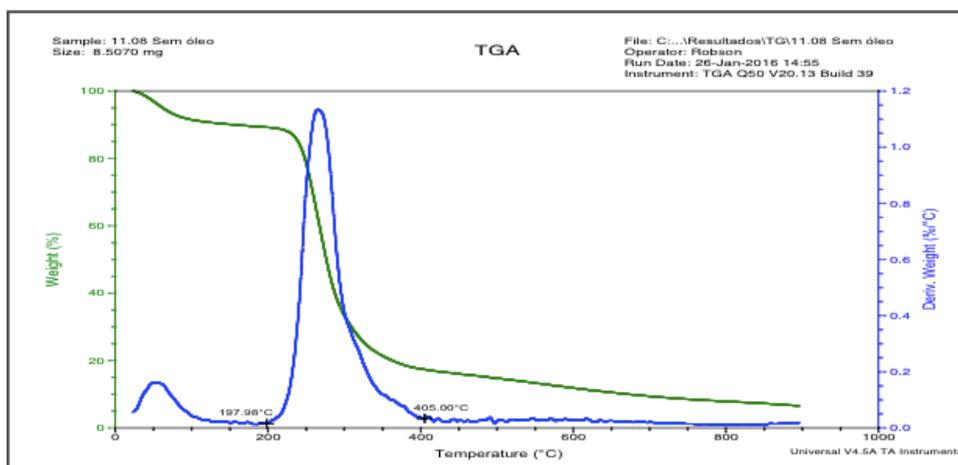


Figura 10- Análise de Termogravimetria (TG) do PUF sem o agente encapsulado

Fonte: Dos autores (2017)

A Figura 11 apresenta o resultado à análise de TG de microcápsulas obtidas na presença de 10 mL de óleo de silicone e com 2,0 mL de emulsificante. Observam-se três intervalos de perda de massa durante a análise: a primeira abaixo de 100°C atribuída aos voláteis, à segunda entre 200 e 330°C atribuída à degradação do PUF e a terceira entre 330 e 650°C atribuída ao óleo de silicone, no qual refletiu em uma perda massa de aproximadamente 55%.

A perda de massa dos componentes em intervalos distintos de temperatura possibilitou a determinação do teor de óleo presente nas amostras de microcápsulas.

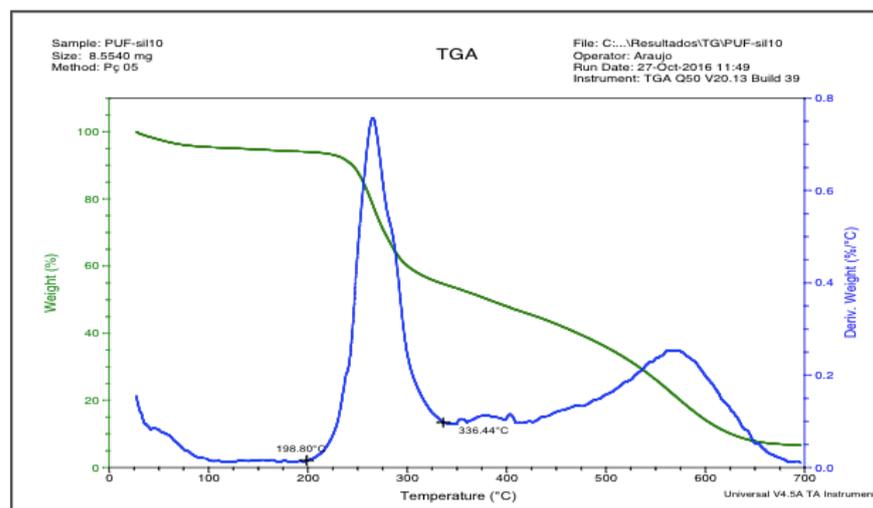


Figura 11- Análise de Termogravimetria (TG) do PUF com 10 mL de óleo de silicone e 2,0 mL de Tween 80

Fonte: Dos autores (2017).

Foram realizadas bateladas utilizando óleo de silicone, Mirasil® DM 350, com uma densidade de 969 kg/m<sup>3</sup> a 25°C, nos volumes de 10 mL, 15 mL, 20 mL e 25 mL variando o volume de Tween 80 entre 1,5 mL e 2,0 mL e três batelada sem agente inibidor.

Na Tabela 3 e 4 é possível verificar o rendimento das microcápsulas obtidas, assim como que conforme o volume de óleo de silicone aumenta conseqüentemente aumenta a quantidade em gramas das microcápsulas e de acordo com os rendimentos as microcápsulas apresentaram um rendimento mais significativo com o volume de Tween 80 de 2,0 mL.

Volume do óleo de silicone (mL)	Massa de microcápsulas obtidas(g)	Volume de Tween 80 (mL)	% Rendimento
10	10,2529	1,5	50,9
15	11,4447	1,5	56,9
20	11,6565	1,5	57,9
25	12,3314	1,5	61,3

Tabela 3 – Variação de dados de quatro bateladas das microcápsulas com 1,5 mL de Tween 80

Fonte: Dos autores (2017).

Volume do óleo de silicone (mL)	Massa de microcápsulas obtidas(g)	Volume de Tween 80 (mL)	% Rendimento
10	9,6331	2,0	46,7%
15	11,6581	2,0	56,5%
20	14,1683	2,0	68,6%
25	15,1236	2,0	73,3%

Tabela 4 – Variação de dados das quatro bateladas das microcápsulas com 2,0 mL de Tween 80

Fonte: Dos autores (2017).

As oito bateladas produzidas passaram pelo processo de lavagem com uma solução de Tween 80 a 2%, com intuito de retirar o óleo da parte externa das microcápsulas.

Primeiramente foi realizada a análise Termogravimétrica (TG) em duas amostras, sendo essas as de 10 mL de óleo de silicone e 1,5 mL de Tween 80 sem passarem pelo processo de lavagem e 10 mL de óleo de silicone e 1,5 mL de Tween 80 com o processo de lavagem, como mostra na Figura 12 e 13, respectivamente.

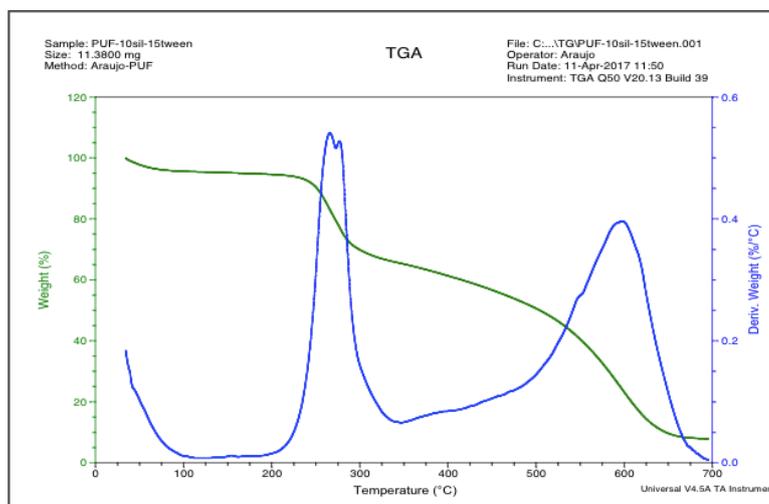


Figura 12- Análise de Termogravimetria (TG) do PUF com 10 mL de óleo de silicone e 1,5 mL de Tween 80 sem a lavagem

Fonte: Dos autores (2017).

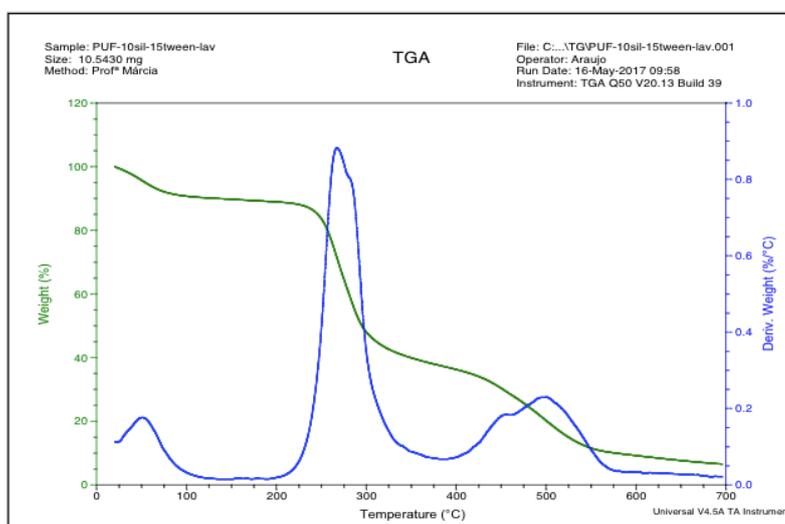


Figura 13- Análise de Termogravimetria (TG) do PUF com 10 mL de óleo de silicone e 1,5 mL de Tween 80 com a lavagem

Fonte: Dos autores (2017).

Diante dos gráficos da Termogravimetria das bateladas que passaram pelo processo de lavagem e sem lavagem, foi possível calcular a porcentagem de perda de massa, apresentadas na Tabela 5.

Componentes	Composição %	
	Sem o processo de lavagem	Com processo de lavagem
Voláteis	05	10
PUF	25	58
Óleo de silicone	60	34,5
Resíduo	10	7,5

Tabela 5 – Variação de dados das quatro bateladas das microcápsulas com 2,0 mL de Tween 80

Fonte: Dos autores (2017).

Diante dos cálculos o óleo de silicone teve uma perda de massa maior na batelada sem o processo de lavagem, em comparação com a batelada que sofreu a lavagem, indicando que o processo de lavagem foi eficiente para remover o óleo aderido externamente nas microcápsulas.

Entretanto, foi realizada a análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) em quatro amostras que passaram pelo processo de lavagem, sendo as amostras com a concentração de 10 mL, 15 mL, 20 mL e 25 mL e o volume de 2,0 mL de Tween 80. A Figura 14 mostra imagens das bateladas do processo de lavagem.

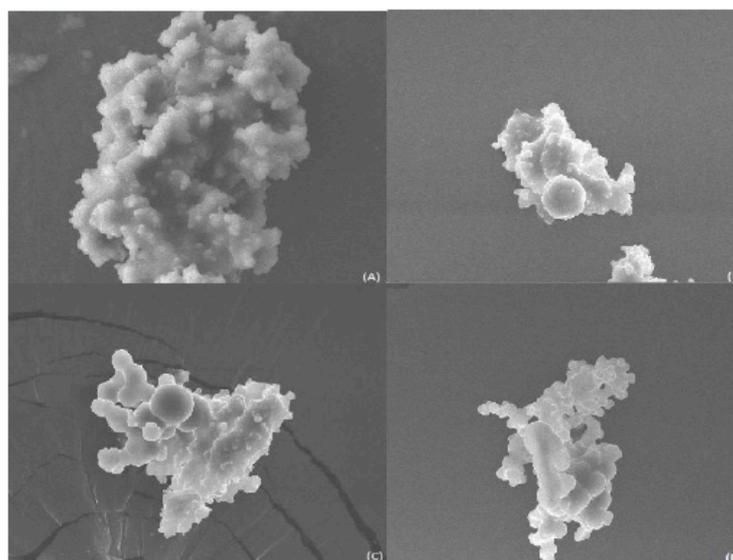


Figura 14- MEV; (a) 10 mL OS e 1,5 mL TW; (b) 15 mL OS e 1,5 mL TW; (c) 20 mL OS e 1,5 mL TW; (d) 25 mL OS e 1,5 mL TW

Fonte: Dos autores (2017).

Foi possível visualizar aglomerados das microcápsulas, PUF, com o tamanho de 10  $\mu\text{m}$  aumentadas em 2000 vezes, de acordo com as imagens o óleo continua

aparecendo nas partes externas das microcápsulas.

## 5 | CONCLUSÃO

O método de obtenção de microcápsulas contendo óleo de silicone (dimetilsiloxano) como agente inibidor de corrosão mostrou-se eficaz nas bateladas realizadas. As microcápsulas contendo 10 mL de óleo de silicone e 2,0 mL apresentaram uma perda de massa de 55% de silicone, indicando que o encapsulamento foi alcançado, o que foi confirmado na análise termogravimétrica.

Foi possível concluir que os parâmetros do processo afetam diretamente na quantidade de microcápsulas produzidas, o volume de óleo de silicone aumentou e conseqüentemente aumentou a quantidade em gramas das microcápsulas obtidas, como também que as microcápsulas apresentaram um rendimento mais significativo com o volume de Tween 80 de 2,0 mL.

O processo de lavagem após a produção de microcápsulas PUF mostrou-se pouco eficaz, já que através da análise de microscopia eletrônica de varredura, as imagens apresentaram a parte externa oleosa.

## REFERÊNCIAS

- [1] BROWN, E. N. et al., "In situ poly(urea-formaldehyde) microencapsulation of dicyclopentadiene", **J. Microencapsulation**, v. 20, n. 20, pp. 719-730, 2003.
- [2] BRYDSON, J. **Plastics Materials**. Oxford: Butterworth Heinemann, 2000. CANEVAROLO, S. V. J. **Ciência dos polímeros**. São Paulo: Artliber Editora Ltda, 2002.
- [3] CHUANJIE, F., XIAODONG, Z., "Preparation and barrier properties of the microcapsules added nanoclays in the wall", **Polymers for Advanced Technologies**, v. 20, n. 12, pp. 934-939, 2009.
- [4] DI CREDICO, B.; LEVI, M.; TURRI, S. An efficient method for the output of new self-repairing materials through a reactive isocyanate encapsulation. **European Polymer Journal**, v. 49, n. 9, p. 2467-2476, 2013.
- [5] DUNKY, M. Urea-formaldehyde (UF) adhesive resins for wood. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, v. 18, n. 2, p. 95-107, 1998.
- [6] FURTADO, P. **Pintura anticorrosiva dos metais**. Rio de Janeiro: LTC, 2010.
- [7] F.O. Stark et al., **Silicones, Comprehensive Organometallic Chemistry**, vol. 2, p. 305, Pergamon Press 1982.
- [8] GARCIA, Marcelo H. F.; FARIAS, Simone B.; FERREIRA, Bianca G.. Determinação quantitativa da concentração de silicone em antiespumantes por espectroscopia FT-IR / ATR e calibração multivariada. **Polímeros**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 5, p.1-6, jul. 2004.
- [9] GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.
- [10] GENTIL, V. **Corrosão**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

[11] M.J. Owen, Chemtech, 11 (1981) 288; esse artigo foi revisado e reeditado em Chimie Nouvelle, 85 (2004) 27.14)

[12] NESTEVORA et al, Microcápsulas poliméricas. **Formação de microcápsulas poliméricas**, 2012.

[13] **REVISTA DA ORDEM DOS engenheiros**. Lisboa, *Dia mundial da sensibilização para a corrosão*. 2010. Mensal. Disponível em: <<http://www.ordemengenheiros.pt/pt/centro-de-informacao/dossiers/apresentacoes/dia-mundial-da-sensibilizacao-para-a-corrosao/>>. Acesso em: 31 ago. 2016.

[14] SILVA, C. *et al*. Administração oral de peptídeos e proteínas: II. Aplicação de métodos de microencapsulação. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 39, n. 1, p. 1–20, 2003.

[15] SAUL, A. C. **Obtenção de microcápsulas aplicadas a “tintas inteligentes” de proteção anticorrosiva**. 2014. 108f. Dissertação (Mestrado em Química) -Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

[16] YUAN, L., GU, A., LIANG, G. “Preparation and properties of poly(urea–formaldehyde) microcapsules filled with epoxy resins”, **Materials Chemistry and Physics**, v. 110, pp. 417–425, 2008.

## REMOÇÃO DE CU(II) POR ADSORÇÃO EMPREGANDO CASCA DE COCO MODIFICADA COM FORMALDEÍDO POLIMERIZADO

### **José Eduardo da Silva**

Departamento de Química – Centro de Educação  
Ciência e Tecnologia da Região dos Inhamuns  
CECITEC– Universidade Estadual do Ceará, Rua  
Solon Medeiros, S/N - BR 020 Tauá - CE - Cep:  
63.660-000 – Fax: (88) 3437 1772.

### **Francisco Idelbrando Lima Rodrigues**

Departamento de Química – Centro de Educação  
Ciência e Tecnologia da Região dos Inhamuns  
CECITEC– Universidade Estadual do Ceará, Rua  
Solon Medeiros, S/N - BR 020 Tauá - CE - Cep:  
63.660-000 – Fax: (88) 3437 1772.

### **Sara Nóbrega Pacífico**

Departamento de Química – Centro de Educação  
Ciência e Tecnologia da Região dos Inhamuns  
CECITEC– Universidade Estadual do Ceará, Rua  
Solon Medeiros, S/N - BR 020 Tauá - CE - Cep:  
63.660-000 – Fax: (88) 3437 1772.

### **Aline Sales Ferreira**

Departamento de Química – Centro de Educação  
Ciência e Tecnologia da Região dos Inhamuns  
CECITEC– Universidade Estadual do Ceará, Rua  
Solon Medeiros, S/N - BR 020 Tauá - CE - Cep:  
63.660-000 – Fax: (88) 3437 1772.

### **Leonardo Félix Santiago**

Departamento de Química – Centro de Educação  
Ciência e Tecnologia da Região dos Inhamuns  
CECITEC– Universidade Estadual do Ceará, Rua  
Solon Medeiros, S/N - BR 020 Tauá - CE - Cep:  
63.660-000 – Fax: (88) 3437 1772.

### **Luisa Celia Melo Pacheco**

CECITEC– Universidade Estadual do Ceará, Rua  
Solon Medeiros, S/N - BR 020 Tauá - CE - Cep:

63.660-000 – Fax: (88) 3437 1772 – CECITEC–  
Universidade Estadual do Ceará, Rua Solon  
Medeiros, S/N - BR 020 Tauá - CE - Cep: 63.660-  
000 – Fax: (88) 3437 1772

### **Francisco André Andrade Aguiar**

CECITEC– Universidade Estadual do Ceará, Rua  
Solon Medeiros, S/N - BR 020 Tauá - CE - Cep:  
63.660-000 – Fax: (88) 3437 1772 – CECITEC–  
Universidade Estadual do Ceará, Rua Solon  
Medeiros, S/N - BR 020 Tauá - CE - Cep: 63.660-  
000 – Fax: (88) 3437 1772

### **Vicente Oliveira de Sousa Neto**

Universidade Federal do Ceará, Departamento  
de Química Analítica e Físico Química Campus  
do Pici, Centro de 15 Ciências, Bloco 940-CEP:  
60451-970, Fortaleza, Ceará;

**RESUMO:** As cascas de coco são resíduos oriundos da agricultura com grande potencial de reaproveitamento e de grande disponibilidade. Este trabalho se propõe a fazer um estudo de mecanismo de transferência de massa e de coluna de adsorção em leito fixo, utilizando a casca de coco tratada com solução de formaldeído polimerizado (CCFP). O estudo de mecanismo do adsorbente C mostrou que o processo de adsorção de Cu(II) envolve uma difusão intrafilme e que os dados adequaram-se bem ao modelo de Weber- Morris e Boyd. Os modelos aplicados para o estudo de coluna foram de Thomas e Yoon-Nelson, aplicando o

método não linear a partir da função erro  $c_2$ . Em que a constante de Thomas foi  $6,0 \times 10^{-4} \text{ L.mg.min}^{-1}$  para as concentração de  $500 \text{ mg.L}^{-1}$ , com uma valor de  $c_2$  igual a 0,13 para o modelo de Thomas e 0,14 para o modelo de Yoon-Nelson.

**PALAVRAS CHAVE:** Cobre, bioadsorbente, mecanismo

**ABSTRACT:** The coconut shells are residues from agriculture with high potential for reuse and high availability. This paper aims to make a mass transfer mechanism of study and adsorption column in fixed bed, using coconut shell treated with polymerized formaldehyde solution (CCFP). The adsorbent mechanism study showed that the Cu adsorption process (II) involves an intraparticle mechanism and the data-model have adapted well to the Weber-Morris and Boyd. The models applied to the column study were Thomas and Yoon-Nelson, applying the non-linear method from the function error  $c_2$ . In the Thomas constant was  $6,0 \times 10^{-4} \text{ L.mg.h}^{-1}$  for concentration of  $500 \text{ mg.L}^{-1}$ ,  $c_2$  0.13 for the model Thomas and 0.14 for the model Yoon-Nelson.

**KEYWORDS:** copper, bioadsorbent, mechanism

## 1 | INTRODUÇÃO

Os metais pesados são conhecidos por serem altamente tóxicos em baixíssimas concentrações na água. Sendo assim, numerosos estudos tem sido dedicados à sua remoção em limites aceitáveis do ponto de vista ambiental (SOUSA NETO 2012).

A adsorção é uma operação de transferência de massa do tipo sólido fluido na qual se explora a habilidade de certos sólidos em concentrar na sua superfície determinadas substâncias existentes em soluções líquidas ou gasosas, o que permite separá-las dos demais Componentes dessas soluções (SCHNEIDER, 2008). Denomina-se adsorbente a espécie que se adsorve à superfície sólida e o sólido com essa propriedade é chamado adsorbente.

Modelos de difusão são utilizados para examinar o mecanismo controlador do processo de adsorção, tais como, reação química, controle da difusão e transferência de massa. Contudo, os modelos empregados com maior frequência são os de Weber-Morris e o Modelo de Boyd (VIEIRA, 2009). Weber-Morris (1963) constatou que, em muitos casos de adsorção, o adsorbato varia quase proporcionalmente com o  $t^{1/2}$  do que com o tempo de contato  $t$  (ALKAN et al, 2007.), conforme a equação 1.

$$qt = K_d t^{1/2} + C \quad (\text{Equação 1})$$

Onde  $qt$  é a quantidade do adsorbato adsorvido ( $\text{mg.g}^{-1}$ ),  $t$  (min) é o tempo de agitação e  $C$  ( $\text{mg.g}^{-1}$ ) é uma constante relacionada com a resistência à difusão.

Aplicando-se uma regressão linear o valor de  $k_d$  ( $\text{mg.g}^{-1}\text{min}^{-0,5}$ ) pode ser obtido da inclinação da reta e o valor de  $C$  pode ser adquirido a partir do coeficiente linear da

equação da reta  $qt$  versus  $t^{0.5}$ . O modelo de Webber-Morris sugere que se o primeiro segmento de reta (estágios iniciais de adsorção) possuir coeficiente linear igual a zero ( $C=0$ ), ou seja, o segmento de reta cortar a origem, então a difusão intraporo controla o processo de adsorção. Entretanto se o coeficiente linear for diferente de zero ( $C \neq 0$ ) então o processo que controla a adsorção pode ser uma difusão intrafilme, cuja espessura é atribuída ao coeficiente linear ( $C$ ) em  $\text{mg.g}^{-1}$  (SOUSA NETO, 2012).

Há estudos que mostraram que o gráfico pode apresentar uma multilinearidade, a qual caracteriza os diferentes estágios na adsorção: transferência de massa externa seguida por difusão intraporo no macro, meso e microporo (CARVALHO et al., 2010). Uma vez determinado a constante de difusão  $k_{di}$  é possível determinar o coeficiente de difusão  $D$  ( $\text{cm}^2.\text{min}^{-1}$ ) através da equação 2.

$$K_{di} = \left(\frac{3q_e}{d}\right) \sqrt{\frac{D}{\pi}} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde  $K_{di}$ - taxa de Difusão  $q_e$ - Capacidade de adsorção no equilíbrio. Para se determinar se o processo de adsorção ocorre através de difusão intrafilme ou um mecanismo intraporo (intrapartícula) os dados cinéticos foram investigados pelo modelo de Boyd (BOYD et al, 1947 a e b).

Uma difusão intrafilme é determinada pela espessura do filme (filme formado pelo solvente que envolve o adsorbente e está relacionado ao valor de  $C$  na constante de Webber-Morris). Se a difusão no interior dos poros (ou seja se o filme que recobre o adsorbente não determina limitante do processo de adsorção então o resultado pode ser expresso pela equação 3.

$$F = 1 - \left(\frac{6}{\pi^2}\right) \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{1}{n^2}\right) e^{(-\pi^2 Bt)} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde  $B$  é uma constante,  $F$  representa a capacidade fracionada que é obtido pela equação 4.

$$F = \frac{q_t}{q_e} \quad (\text{Equação 4})$$

O valor de  $Bt$  é determinado a partir da combinação das equações 5 e 6, desenvolvidas por (REICHENBERG, 1953):

$$BT = -0.4977 - \ln(1 - F) \quad (\text{Equação 5})$$

$$Bt = (\sqrt{\pi} - \sqrt{\pi - \frac{\pi^2 F}{3}}) \quad (\text{Equação 6})$$

Termo Bt é calculado para cada valor de F, e, em seguida, os valores resultantes de Bt são traçados contra t. Se o gráfico gerar uma reta que atravessa a origem é possível concluir que o processo de difusão intraporo é a etapa limitante do processo de adsorção para a faixa de tempo especificada. A inclinação é igual a constante B (constante de Boyd). O coeficiente de difusão D (cm<sup>2</sup>.min<sup>-1</sup>) está relacionado a constante de Boyd, através da equação 7.

$$B = \left(\frac{\pi^2 D}{d^2}\right) \quad (\text{Equação 7})$$

Onde: D - Diâmetro médio das partículas (cm) B - constante de Boyd. No estudo de coluna empregou-se o modelo não linear de Thomas e Yoon-Nelson. O modelo de Thomas Tradicionalmente é utilizado para determinar a capacidade máxima de adsorção de um adsorbente em sistemas contínuos. O modelo de Thomas pode ser expresso pelas equação 8 (AKSU; GÖNEN, 2004).

$$\frac{C_e}{C_o} = \frac{1}{1 + e^{\left[\frac{k_{TH} q_o m}{F} - k_{TH} C_o t\right]}} \quad (\text{Equação 8})$$

Onde: Ce - Concentração do adsorbato no equilíbrio Co - Concentração inicial KTh- Constante de Thomas

Yoon & Nelson (*apud* IPEK *et al.*, 2013) desenvolveram um modelo relativamente simples, abordando o processo de adsorção de gases no que diz respeito ao carvão ativado. Este modelo não só é mais simples do que os outros modelos como também não exige dados detalhados relativos às características do soluto, ao tipo de adsorbente e às propriedades físicas do leito. A equação 9 não linear para este modelo é expressa como:

$$\frac{C_e}{C_o} = \frac{1}{1 + \exp[k(\tau - t)]} \quad (\text{Equação 9})$$

Onde: t significa Tempo de 50% da saturação da coluna. A função estatística Qui-

quadrado ( $\chi^2$ ), é basicamente, a soma dos quadrados das diferenças entre os dados experimentais e os dados previstos teoricamente dos modelos. Dado pela equação 10.

$$\chi^2 = \sum \frac{(q_{exp} - q_{cal})^2}{q_{cal}} \quad (\text{Equação 10})$$

Onde:  $q_{exp}$  - Capacidade de adsorção experimental  $q_{cal}$  - Capacidade de adsorção teórica. Diante do exposto o objetivo do trabalho é estudar a capacidade de adsorção da casca de coco modificado com formaldeído polimerizado em solução sintética de Cu(II) para remover Cu (II) da água.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Adsorbente (BC)

A casca de coco verde (BC) foi adquirido na EMBRAPA- Agroindústria Tropical, (Fortaleza, Ceará). A casca do coco foi seca a luz solar por 24 horas, foi cortada em pequenas frações e trituradas e depois separadas de 60-100 mesh. As frações foram secas a 60°C em estufa e posteriormente acondicionada em dessecador.

### 2.2 Reagentes químicos

As soluções e reagentes que foram utilizados para determinação dos íons metálicos eram todos de grau analítico, são eles: Etilenodiaminotetracético (EDTA), indicador murexida, tampão de amônia usando hidróxido de amônio (NH<sub>4</sub>OH) e cloreto de amônio (NH<sub>4</sub>)Cl, NaOH (hidróxido de sódio) e CuSO<sub>4</sub> (sulfato de cobre) 100-400 mg.l<sup>-1</sup>, tampão acetato, com PH 5,5.

### 2.3 Modificação com formaldeído polimerizado (CCFP)

A casca de coco não modificado foi tratado com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e HCHO 37% de acordo com uma adaptação do método de modificação proposta por (NOELINE; ANIRUDHAN; MANOHAR 2005). Em um béquer a mistura foi aquecida a 60°C por 5h sob agitador magnético Biomixer 78HW-1, com velocidade 150 rpm (rotações por minuto). O CCFP (casca de coco /formaldeído polimerizado) obtido foi filtrado, lavado entre 5 a 8 vezes, em seguida foi secada em estufa a 60°C por uma noite.

### 2.4 Estudo de Cinética e Mecanismo

O estudo de mecanismo foi realizado mediante a retirada das amostras do banho de equilíbrio a 25°C em intervalos de tempo de 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 30, 40 e 50 minutos sob agitação em agitador orbital Quimis Q-228-21 com velocidade de 150 rpm (rotações por minuto). A massa do adsorbente empregada foi de 50 mg em frascos

cônicos com 25 ml de solução de Cu(II). Após cada tempo, a solução foi filtrada e o metal foi determinado por titulação.

## 2.5 Estudo de Coluna de leito Fixo

Os experimentos de adsorção em coluna empregou 1,0 grama do adsorbente CCFP. A altura resultando foi 4 cm em uma coluna de vidro (1,0 cm de diâmetro interno e 50 cm de altura). Sendo utilizada uma solução sintética de 500 mg.L<sup>-1</sup> de Cu (II), com o auxílio de uma bomba peristáltica em um fluxo volumétrico constante de 4 mL.min<sup>-1</sup>. As amostras foram coletadas em intervalos de 3 minutos. As concentrações de Cu(II) na amostra foram determinadas usando o método complexiométrico.

## 2.6 Potencial de carga Zero (PZC)

Um índice conveniente que revela a propensão da superfície se tornar positiva ou negativamente carregada em função do pH, é o valor de pH requerido para que a carga elétrica líquida da superfície seja zero valores de pH inferiores ao (pHPZC) indicam que a carga superficial é positiva e portanto a adsorção de ânions é favorecida. Para valores de pH superiores ao (pHPZC) a carga superficial é negativa e a adsorção de cátions é favorecida (AL-DEGS, 2000; APEEL *et al*, 2003 *apud* SOUSA NETO, 2012).

# 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

## 3.1 Influência da Concentração na Adsorção

A Figura 1 mostra a capacidade de adsorção  $t$  vs  $q$  até atingir o equilíbrio para diferentes concentrações de solução sintética de Cu(II). Na figura 1 é possível perceber que houve um aumento da taxa de adsorção quando a concentração aumentou.

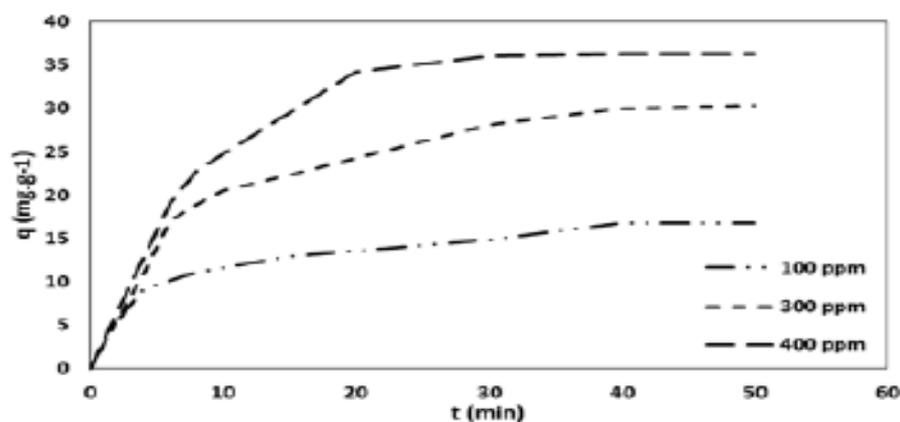


Figura 1. Cinética de adsorção do Cu(II) em soluções sintética (100 mg.L<sup>-1</sup>, 300 mg.L<sup>-1</sup>, 400 mg.L<sup>-1</sup>) sobre o bagaço modificado CCFP. Condições experimentais a pH = 5,5.

## 3.2 Aplicação do modelo de difusão sobre o adsorbente CCFP.

A Figura 2 mostra o modelo de difusão proposta por Webber-Morris. Mostra que

existe uma boa concordância entre os dados teóricos e experimentais indicando que o modelo descreve bem o mecanismo de adsorção. O equilíbrio foi alcançado quando  $q(\text{mg.g}^{-1})$  não sofreu mudanças com o passar do tempo e se observou uma linha horizontal.

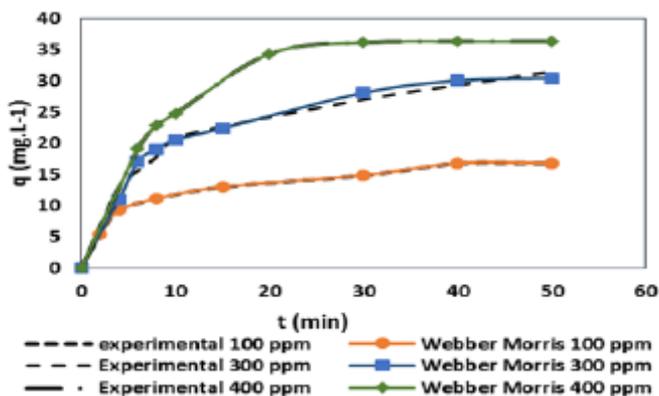


Figura 2. Dados experimentais e teóricos aplicando o modelo de difusão intrafilme de Weber-Morris obtidos no estudo de adsorção do Cu(II) em soluções sintética 100 mg.L-1, 300 mg.L-1 e 400 mg.L-1) sobre a casca modificada CCFP. Condições experimentais: pH=6,5. Agitação 150 rpm.

A Figura 3 mostra as etapas envolvidas na adsorção de Cu(II), sobre a superfície do adsorbente CCFP. Verifica-se que para o intervalo de tempo de 2 - 15 minutos predominou a difusão intrafilme, com coeficiente linear C igual  $1,61 \text{ mg.g}^{-1}$  diferente de zero ( $C \neq 0$ ), com o  $K_{di}$  igual a  $5,71 \text{ mg.g}^{-1} \cdot t^{-1/2}$ . Porém com um valor de C pequeno o que causa dúvida relacionado a tempo menor que 2 min.

Na etapa II observa-se que houve uma redução na constante de difusão cujo valor encontrado foi de  $k_{di(II)} = 2,72 \text{ mg.g}^{-1} \cdot t^{1/2}$  e que a espessura do filme foi de  $12,12 \text{ mg.g}^{-1}$ . Este efeito indica a diminuição da difusão até alcançar o equilíbrio (etapa II).

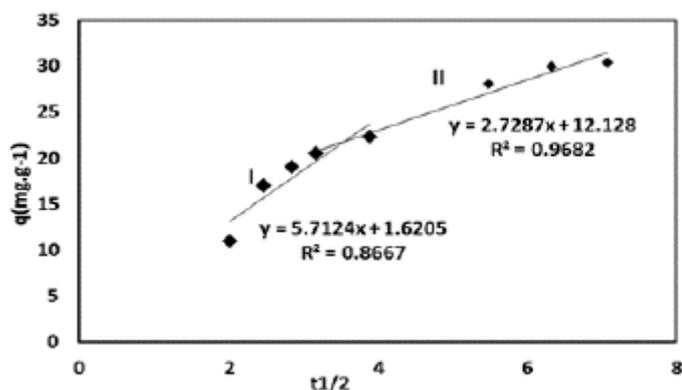


Figura 3. Mecanismo de difusão de Weber-Morris aplicado a adsorção do Cu(II) em solução sintética (300 mg.L-1) sobre o bagaço modificada CCFP. Condições experimentais: pH= 5,5; Agitação 150rpm.

Os parâmetros relacionados a taxa de difusão  $k_{di}$  e coeficiente e de difusão D do modelo de Weber-Morris foram determinados empregando-se as equações 1 e 2 respectivamente. Esse modelo foi usado em todas as concentrações estudadas. Os

dados estão resumidos nas tabelas 1, 2 e 3.

O modelo de Boyd foi aplicado às concentrações de 100 e 300 e 400 mg.L<sup>-1</sup>. Os resultados mostram que a taxa de difusão (K<sub>di</sub>) e coeficiente de difusão (D) diminuem na etapa II em relação a etapa I para todas as concentrações estudadas. Já a constante C que representa a espessura do filme, há um aumento da etapa I para etapa II em todas as concentrações. Os dados são concordantes, pois, nos tempos iniciais há um maior número de sítios disponíveis, enquanto que na etapa II houve uma redução, pois, a maior parte dos sítios disponíveis foram preenchidos na etapa I. O que também contribuiu para queda da taxa de difusão inicial (K<sub>di</sub> II) na etapa II foi o aumento de x2 reduzindo difusão do Cu(II) com a formação do filme, como mostrado na Figura 4.

O modelo de Boyd sugere que o processo de difusão se deu por intraporo, por ser mais preciso em tempos menores.

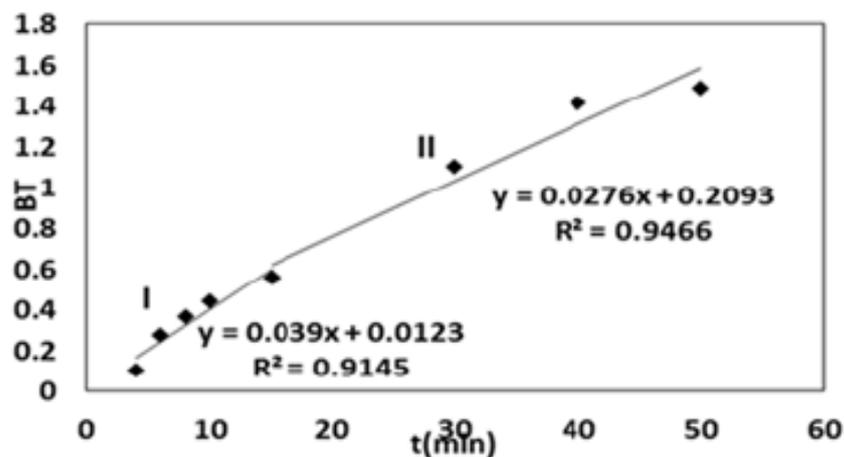


Figura 4. Mecanismo de difusão intraporo de Boyd aplicado a adsorção do Cu(II) em solução sintética (300 mg.L<sup>-1</sup>) sobre o bagaço modificado CCFP, PH=5,5, Tampão acetato.

Modelo de difusão de Webber Morris							
I				II			
K <sub>di</sub> (mg.g <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	C <sub>1</sub> (mg.g <sup>-1</sup> )	D cm <sup>2</sup> .min <sup>-1</sup>	R <sup>2</sup>	K <sub>di</sub> (mg.g <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	C <sub>1</sub> (mg.g <sup>-1</sup> )	D cm <sup>2</sup> .min <sup>-1</sup>	R <sup>2</sup>
2,89	2,34	4,0x10 <sup>-2</sup>	0,909	1,28	8,04	2,7x10 <sup>-2</sup>	0,946
Modelo de difusão de Boyd							
I			II				
B	D (cm <sup>2</sup> min <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	B	D (cm <sup>2</sup> min <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>		
6,3x10 <sup>-2</sup>	2,1x10 <sup>-6</sup>	0,947	3,7x10 <sup>-2</sup>	1,2x10 <sup>-4</sup>	0,9441		

Tabela 1. Parâmetros dos modelos de difusão de Webber-Morris e Boyd para o estudo de mecanismo de adsorção de Cu(II) no adsorbente CCFP. Condições experimentais 100 mg. L<sup>-1</sup>.

Modelo de difusão de Webber Morris							
I				II			
$K_{di}$ ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ )	$C_1$ ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )	$D$ $\text{cm}^2\cdot\text{min}^{-1}$	$R^2$	$K_{di}$ ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ )	$C_1$ ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )	$D$ $\text{cm}^2\cdot\text{min}^{-1}$	$R^2$
5,71	1,61	$4,1\times 10^{-2}$	0,866	2,72	12,12	$2,8\times 10^{-4}$	0,968

Modelo de difusão de Boyd					
I			II		
B	D ( $\text{cm}^2\cdot\text{min}^{-1}$ )	$R^2$	B	D ( $\text{cm}^2\cdot\text{min}^{-1}$ )	$R^2$
$3,9\times 10^{-2}$	$1,3\times 10^{-6}$	0,914	$2,7\times 10^{-2}$	$9,1\times 10^{-7}$	0,942

Tabela 2. Parâmetros dos modelos de difusão de Webber-Morris para o estudo de mecanismo de adsorção de Cu(II) no adsorbente CCFP. Condições experimentais 300 mg.L-1.

Modelo de difusão de Webber Morris							
I				II			
$K_{di}$ ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ )	$C_1$ ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )	$D$ $\text{cm}^2\cdot\text{min}^{-1}$	$R^2$	$K_{di}$ ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ )	$C_1$ ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )	$D$ $\text{cm}^2\cdot\text{min}^{-1}$	$R^2$
7,36	1,45	$4,3\times 10^{-2}$	0,995	0,74	31,36	$1,3\times 10^{-2}$	0,734

Modelo de difusão de Boyd					
I			II		
B	D ( $\text{cm}^2\cdot\text{min}^{-1}$ )	$R^2$	B	D ( $\text{cm}^2\cdot\text{min}^{-1}$ )	$R^2$
$8,1\times 10^{-2}$	$2,7\times 10^{-6}$	0,984	$6,2\times 10^{-3}$	$2,1\times 10^{-7}$	0,733

Tabela 3. Parâmetros dos modelos de difusão de Webber-Morris para o estudo de mecanismo de adsorção de Cu (II) no adsorbente CCFP. Condições experimentais 400 mg.L-1.

### 3.3 Potencial de Carga Zero

A modificação trouxe grandes mudanças no valor do pH(PZC). Na amostra não modificada CC o pH(PZC) determinado foi 4,5. Esse valor foi reduzido a 2,7 após modificação (amostra CCFP). Esse efeito sugere uma considerável alteração na superfície do material modificado.

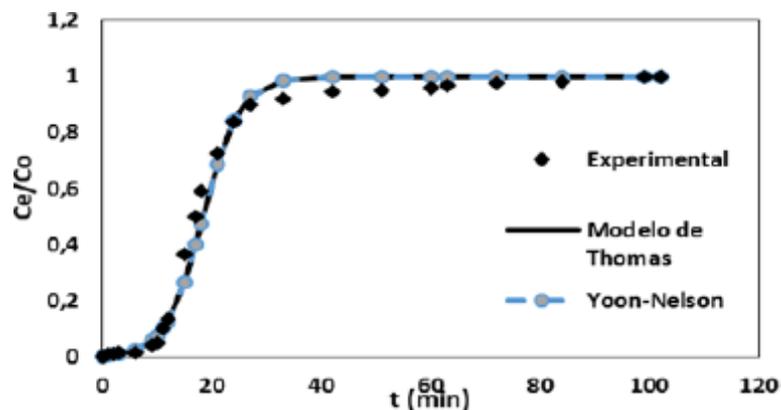


Figura 5. Perfil da curva de coluna de adsorção com os modelos de Thomas e Yoon- Nelson com adsorbente CCFP.Ph 5,5.

### 3.4 Coluna de Adsorção

A Figura 5 mostra o perfil da curva da coluna de adsorção de Cu(II) no adsorbente CCFP empregando regressão não linear. Verifica-se que os dados teóricos e

experimentais são bastante concordantes sugerindo que, tanto o modelo de Thomas como o de Yoon-Nelson descreveram bem o processo de adsorção.

Figura

A capacidade de adsorção da coluna ( $q_m$ ) foi de  $40,45 \text{ mg.g}^{-1}$ , aplicando o modelo não linear de Thomas, o valor de  $q_m$  foi de  $24,50 \text{ mg.g}^{-1}$  e a constante  $k_{TH}$  foi  $6 \times 10^{-4} \text{ mL.(mg.min)}^{-1}$ . O valor da constante  $t(\text{min})$  de Yoon- Nelson que representa o tempo de ruptura a 50% foi de 17 min. O valor experimental de  $t$  foi de 18 min,  $x_2$  foi próximo de zero demonstrando pouco erro. Comparando os dados dos modelos com os dos experimentais observa-se que descreveram bem o processo de adsorção, de acordo com a tabela 4.

Não Linear					
Parâmetros					
Modelo de Thomas	$k_{TH}$	$q_m$	$\chi^2$	$q_{exp}$	$R^2$
	( $\text{g.mg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ )	( $\text{mg.g}^{-1}$ )		( $\text{mg.g}^{-1}$ )	
	$6,0 \times 10^{-4}$	24,50	0,13	40,45	0,999
Modelo de Yoon-Nelson	$t$	$k$	$\chi^2$	$\tau$	$R^2$
	(min)	( $\text{L.min}^{-1}$ )		(min)	
	18,14	0,36	0,14	17	0,995

Tabela 4. Parâmetros dos modelos de adsorção em coluna empregando método não linear. Os dados se referem a adsorção de Cu(II) na amostra de CCFP.

## 4 | CONCLUSÃO

O estudo de adsorção mostrou que a casca de coco verde submetida ao tratamento com formaldeído polimerizado pode ser empregada como bioadsorbente alternativo, e de baixo custo, para ser utilizada na remoção de Cu(II).

O estudo de mecanismo, aplicando os modelos de Webber-Morris e Boyd, sugere que o processo de adsorção, envolve uma difusão intraporo. Os dados teóricos dos modelos foram concordantes com os dados experimentais.

Através do estudo de coluna em leito fixo determinou-se que a capacidade experimental de remoção foi de  $40,5 \text{ mg.g}^{-1}$ , e que os dados teóricos de Thomas e Yoon- Nelson foram concordantes com os dados experimentais.

O adsorbente empregado nesse estudo tem potencial para ser empregado na remoção de metais pesados.

## REFERÊNCIAS

ALKAN, M.; DEMIRBAŞ, Ö.; DOĞAN, M., 2007. *Adsorption kinetics and thermodynamics of an anionic dye onto sepiolite. Microporous and Mesoporous Materials*, 101(3): 388-396. 2007.

- AKSU, Z.; GÖNEN, F. *Biosorption of phenol by immobilized activated sludge in a continuous packed bed: prediction of breakthrough curves*. *Process Biochemistry*, 39: 599–613, 2004.
- BOYD, G. E.; SCHUBERT, J.; AND ADAMSON, A. W. *The exchange adsorption of ions from aqueous solutions by organic zeolites, I: Ion exchange equilibria*, *Journal of the American Chemical Society*. 69, 2818. (1947a).
- BOYD, G. E.; ADAMSON, A. W.; AND MYERS J. R. L. **S**. *The exchange adsorption of ions from aqueous solutions by organic zeolites. II: Kinetics*, *Journal of the American Chemical Society*, 69, 2836 (1947b).
- CARVALHO, T. E. M.; FUNGARO, D. A.; IZIDORO, J. C. *Adsorção do corante reativo laranja 16 de soluções aquosas por zeólita sintética*, *Química Nova* 33, 358 (2010).
- IPEK, I. Y.; KABAY, N.; YÜKSEL, M. *Modeling of fixed bed column studies for removal of boron from geothermal water by selective chelating ion exchange resins*. *Desalination*, 310: 151, 2013.
- NOELINE, B. F.; MANOHAR, D. M.; ANIRUDHAN, T. S. *Kinetic and equilibrium modelling of lead(II) sorption from water and wastewater by polymerized banana stem in a batch reactor*, *Separation and Purification Technology*, 45, 131 (2005).
- REICHENBERG, D. *Properties of ion exchange resins in relation to their structure. III. Kinetics of exchange*, *Journal of the American Chemical Society* 75, 9 (1953).
- SCHNEIDER, E.L. *Adsorção de compostos fenólicos sobre carvão ativado*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2008.
- SOUSA NETO, V. de O. *Modificação química da casca do coco bruto (cocos nucifera) para remoção de Cu(II) de efluente sintético e industrial: estudo de isoterma de adsorção, cinética e coluna de leito fixo*. Tese : *Engenharia Civil-Saneamento Ambiental*. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza - CE, 2012.
- VIEIRA, A. P.; SANTANA, S. A. A.; BEZERRA, C.W.B.; SILVA H. A. S.; CHAVES, J. A. P.; MELO, J.C.P.; SILVA, E. C.; AROLDI, A. *Kinetics and thermodynamics of textile dye adsorption from aqueous solutions using babassu coconut mesocarp*. *Journal of Hazardous Materials*, Vol.166, 009.
- WEBER J. R.; W.J, MORRIS, J. C. *Kinetics of adsorption on carbon from solution* *J. Sanit. Eng. Div., Proc. Am. Soc. Civil Eng.*, 89, 31-42 (1963).

## ENTALPIA E ENTROPIA DE SORÇÃO DE ÁGUA DA FARINHA DE CAÑIHUA (*Chenopodium pallidicaule Aellen*)

### **Julles Mitoura dos Santos Junior**

Universidade Federal do Maranhão  
São Luís – Maranhão

### **Mona Mellissa Oliveira Cruz**

Universidade Federal do Maranhão  
São Luís – Maranhão

### **Augusto Pumacahua Ramos**

Universidad Nacional Intercultural de Quillabamba  
Quillabamba, Cusco – Perú

### **Diana Maria Cano Higueta**

Universidade Estadual Paulista  
São José do Rio Preto – São Paulo

### **Romildo Martins Sampaio**

Universidade Federal do Maranhão  
São Luís – Maranhão

### **Harvey Alexander Villa Vélez**

Universidade Federal do Maranhão  
São Luís – Maranhão

**RESUMO:** Utilizou-se o método gravimétrico estático para determinar o calor isostérico da farinha de cañihua (*Chenopodium pallidicaule Aellen*) a três temperaturas (30, 45 e 60°C) e atividades de água na faixa de 0,000 até 0,769. Para a modelagem dos dados experimentais foram utilizados 5 modelos matemáticos, os modelos teóricos de GAB e BET, e os modelos empíricos de Oswin, Henderson e Halsey. O modelo de GAB apresentou a melhor simulação

dos dados experimentais, apresentando  $R^2 > 0,99$  e  $RMSE < 3,6 \times 10^{-3}$  e, dessa forma, utilizou-se os parâmetros do mesmo para a determinação do calor isostérico e entropia de sorção da água. A umidade de equilíbrio foi analisada em função das temperaturas e percebe-se que a absorção de água é menor para maiores temperaturas. Aplicou-se a equação de Clausius-Clapeyron a um teor de umidade constante para determinar o calor isostérico de sorção da farinha cañihua. Os pontos mais homogêneos, em termos de energia, foram encontrados na faixa de teor de umidade de 0,042 a 0,0379 Kg/kg,bs, onde foi obtido o valor máximo de entalpia. Os resultados obtidos para as propriedades termodinâmicas, com uso dos modelos matemáticos, apresentam-se coerentes e passíveis de discussão acerca das propriedades da farinha de cañihua.

**PALAVRAS-CHAVE:** denominação de origem, modelagem e simulação, propriedades diferenciais, termodinâmica estatística.

### WATER SORPTION ENTHALPY AND ENTROPY OF CAÑIHUA FLOUR (*Chenopodium pallidicaule Aellen*)

**ABSTRACT:** The static gravimetric method was used to determine the water sorption enthalpy of cañihua (*Chenopodium pallidicaule Aellen*)

at three temperatures (30, 45 and 60 ° C) and water activities with a maximum value of 0,769. Five models were used to modeling the experimental data: the theoretical models of GAB and BET, and the empirical models of Oswin, Henderson and Halsey. The GAB model has the best fitting results with the experimental data, showing  $R^2 > 0,99$  and  $RMSE < 3,6 \times 10^{-3}$  and, using the same parameters to determine the water sorption enthalpy and entropy. The equilibrium moisture was analyzed as a function of the temperatures and it is perceived that the water absorption is lower for higher temperatures. The Clausius-Clapeyron equation was applied to a constant moisture content to determine the sorption enthalpy of Cañihua flour. The most homogeneous points in terms of energy were found in the range of moisture content of 0,042 a 0,0379 kg/kg, d.b, being have the maximum value of differential enthalpy. The results obtained for the thermodynamic properties with the use of the mathematical models are coherent and can be discussed about the properties of Cañihua flour.

**KEYWORDS:** designation of origin, modeling and simulation, differential properties, statistic thermodynamics.

## NOMENCLATURA

$X_e$	-	umidade de equilíbrio em base seca (kg/kg, b.s).
$m_u$	-	massa úmida da amostra (g).
$m_s$	-	massa seca da amostra (g).
$a_w$	-	atividade de água.
$X_m$	-	umidade de equilíbrio na monocamada.
$C$	-	constante de BET.
$C e K$	-	constantes de adsorção relacionadas às interações energéticas entre moléculas da monocamada e moléculas próximas dos sítios ativos.
$a e b$	-	constantes dos modelos empíricos que dependem da temperatura e da natureza do produto.
$\lambda$	-	calor latente de vaporização da água pura (KJ/mol).
$\alpha$	-	parâmetro de correlação equação de segundo grau proveniente do modelo de GAB (adimensional)
$\beta$	-	parâmetro de correlação equação de segundo grau proveniente do modelo de GAB (adimensional)
$q_s$	-	calor líquido de sorção (kJ/kg).
$Q_s$	-	calor isostérico de sorção (kJ/kg).
$\Delta S$	-	entropia molar diferencial (kJ/mol K).
$\Delta G$	-	energia livre de Gibbs (kJ/mol).
$R$	-	constante universal dos gases (kJ/ mol K).
$RMSE$	-	raiz quadrática do erro médio relativo.
$Y'$	-	dados de umidade de equilíbrio predita pelos modelos.
$Y$	-	dados de umidade de equilíbrio experimental.
$\bar{y}$	-	dados de umidade de equilíbrio média.

## 1 | INTRODUÇÃO

A cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) é uma planta agrícola cultivada na região dos Andes do sul do Peru e na Bolívia, em condições climáticas e ecológicas consideradas as mais difíceis do mundo (REPO-CARRASCO-VALENCIA, 1998). A cañihua contribuiu para a sobrevivência dos povos andinos há centena de anos, sendo comumente confundida com a quinoa, por isso que regionalmente é conhecida como “quinoa silvestre” (PAEZ; EYZAGUIRRE, 2004). A Tabela 1 apresenta a classificação botânica da cañihua.

<b>Sub-reino</b>	Vegetal
<b>Divisão</b>	Phanerogamae
<b>Classe</b>	Angiospermae
<b>Subclasse</b>	Dicotyledoneae
<b>Ordem</b>	Archychlamydease
<b>Família</b>	Centrospermae
<b>Gênero</b>	Chenopodium
<b>Espécie</b>	Chenopodium pallidicaule Aellen

Tabela 1 – Classificação botânica da Cañihua.  
(IPGRI, 2005).

O grão da cañihua possui alto conteúdo de amido (53-66%), elevadas proporções de proteínas (16-19%), o que está um pouco acima do encontrado em outros cereais, possui boas proporções de aminoácidos, ácidos graxos, além de ser boa fonte de polifenóis e outros antioxidantes (PEÑARRIETA et al., 2008; REPO-CARRASCO-VALENCIA et al., 2009). Sala-Valero (2017) estudou a extração do amido da cañihua para aplicações em filmes biodegradáveis e obteve filmes com boa resistência mecânica.

Apesar do seu alto valor nutritivo e da importância do seu cultivo, o consumo de cañihua tem diminuído entre os povos andinos devido à inserção de produtos industrializados de baixo custo, tais como arroz e macarrão. Paez e Eyzaguirre (2004) indicam que a redução do consumo de cañihua, tem causado enorme pressão socioeconômica nas comunidades do Altiplano, sendo pressionadas a introduzir outros cultivos, o que provoca a migração para as cidades.

O cultivo da cañihua é encontrado em climas de 3600 a 4400 m de altitude e baixas temperaturas, de -3°C a -10°C (MUJICA, 1992). As condições de cultivo da cañihua revelam uma das maiores importâncias para o cultivo da mesma, pois para dadas condições climáticas e ecológicas, é pouco provável o cultivo de outros cereais, por esse motivo, a cañihua tem fornecido alimento para os povos do altiplano peruano e boliviano durante muitos anos (REPO-CARRASCO-VALENCIA et al., 2009).

Dentre os fatores que desencadeiam a desutilidade do alimento durante o seu armazenamento, as condições de temperatura e umidade relativa do meio apresentam enorme significância quando estas não são condicionadas de acordo com as propriedades individuais de cada alimento. Faz-se necessário o conhecimento de propriedades físicas e químicas dos mesmos que apresentem alternativas para otimizar as condições de armazenamento (KUMAR, 1974).

A água presente nos alimentos é o principal fator a ser considerado quando se tem interesse em avaliar o comportamento de um alimento com relação às propriedades do ambiente, pois esta é o principal meio para o crescimento microbiano e funciona como solvente nas transformações químicas e bioquímicas no alimento. A atividade de água é o indicativo da quantidade de moléculas livres de água disponíveis para ocasionar deterioração das propriedades do alimento (LABUZA, 1977).

As isotermas de sorção correspondem ao espaço geométrico que relaciona a umidade de equilíbrio de um alimento a determinadas condições de atividade de água e temperatura do meio. O conhecimento das interações do alimento com o ambiente é de fundamental importância para o controle da umidade relativa do ar para a garantia da estabilidade do produto, tendo em vista que quando a pressão de vapor de água na superfície do material não é igual à do ar que o envolve, espontaneamente ocorre o fenômeno de transferência de massa até que o equilíbrio seja alcançado. As isotermas de sorção de água de um alimento fornecem informações fundamentais para evitar a migração de água entre o alimento e o ambiente, para determinar a permeabilidade requerida no material embalado, para determinar o teor de umidade que impede o crescimento de microrganismos no alimento e para determinar a estabilidade física e química dos alimentos em função do seu conteúdo de umidade (OLIVERA, 2008).

As propriedades termodinâmicas obtidas através das isotermas de sorção são indispensáveis para a busca de melhores condições de processamento de alimentos. Dentre as mais importantes estimativas feitas acerca do conhecimento destas, tem-se a energia de ligação de água e a estimativa dos resultados para a monocamada molecular de água, estes indicam a relação com as reações químicas que determinam a deterioração dos materiais biológicos (PARK et al., 2008).

O calor isostérico ou entalpia de sorção, é a propriedade termodinâmica que apresenta uma estimativa da quantidade de calor mínima requerida para remover uma determinada quantidade de água de um alimento. Além disso, o calor isotérico permite tomar conclusões sobre a microestrutura e as possíveis mudanças física que ocorrem na superfície do alimento (ALMEIDA; FONSECA; GOUVEIA, 1999).

Outra propriedade de ampla interpretação é a entropia molar diferencial. A entropia diferencial estima o grau de desordem de um sistema, dessa forma, é um bom indicativo para a organização das partículas de água nos sítios ativos de um produto (RIZVI, 1986).

Mediante o exposto previamente, o presente trabalho tem como objetivo determinar as propriedades termodinâmicas de sorção de água da farinha de cañihua,

ampliando os conhecimentos sobre este produto na busca das melhores condições para seu armazenamento e processo de secagem.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Matéria prima

No trabalho foi utilizada a cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) a qual foi adquirida no mercado local da cidade de Juliaca, Peru.

### 2.2 Isotermas de Sorção

Para obtenção das isotermas de adsorção de água, utilizou-se o método gravimétrico estático (JOWITT et al., 1983). Amostras em triplicata foram pesadas com aproximadamente 1 g de farinha de cañihua em cadinhos de plástico e armazenados em recipientes herméticos contendo soluções diluídas de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ). Foram preparadas 6 soluções diluídas de ácido sulfúrico, cada uma destinada a um recipiente hermético. As temperaturas de 30, 45 e 60 °C foram mantidas constantes utilizando uma câmara tipo B.O.D. (modelo NT 703, Novatecnica, Brasil). As amostras foram pesadas em intervalos de 24h até alcançar o equilíbrio higroscópico, onde o material deixa de doar ou receber conteúdo de umidade. A tabela 2 apresenta as concentrações das soluções diluídas de ácido sulfúrico utilizadas com as atividades de água em função da temperatura.

[H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ]	a <sub>w</sub>		
	30°C	45°C	60°C
30%	0,7549	0,7624	0,7691
40%	0,5711	0,5848	0,5986
50%	0,3574	0,3770	0,3956
60%	0,1677	0,1833	0,1986
70%	0,0470	0,0544	0,0621
80%	0,0000	0,0000	0,0000

Tabela 2 – Atividade de água do ácido sulfúrico em função da concentração da solução e temperatura.  
(RIZVI, 1986).

Para obtenção da massa seca, as amostras foram levadas à uma estufa de desidratação à 105°C. A análise do equilíbrio higroscópico da farinha de cañihua foi feita seguindo a metodologia AOAC (1997). As umidades de equilíbrio apresentam uma relação da massa de equilíbrio de cada amostra com a massa seca da mesma. Para obtenção destas, utilizou-se a Equação 1.

$$X_e = \frac{m_u - m_s}{m_s} \quad (1)$$

### 2.3 Modelagem matemática das isotermas de sorção

As isotermas de sorção podem ser preditas seguindo ajustes de dados experimentais por modelos propostos na literatura, estes são úteis no conhecimento das características dos produtos. A Tabela 3 apresenta os modelos teóricos (GAB e BET) e empíricos (Oswin, Henderson, Halsey) utilizados no trabalho para modelar as isotermas de adsorção de água da farinha de cañihua.

Modelo	Equação	Referência
GAB	$X_e = \frac{X_m C K a_w}{(1 - K a_w) [1 + (C - 1) K a_w]} \quad (2)$	(VAN DEN BERG, 1985)
BET	$X_e = \frac{X_m C a_w}{(1 - a_w) [1 + (C - 1) a_w]} \quad (3)$	(BRUNAUER et al., 1940)
Oswin	$X_e = a \left( \frac{a_w}{1 - a_w} \right)^b \quad (4)$	(LOMAURO; BAKSHI; LABUZA, 1985)
Henderson	$X_e = \left( \frac{-a}{\ln a_w} \right)^{\frac{1}{b}} \quad (5)$	(HENDERSON, 1952)
Halsey	$X_e = \left( \frac{-\ln(1 - a_w)}{a} \right)^{\frac{1}{b}} \quad (6)$	(HALSEY, 1948)

Tabela 3 – Modelos de ajuste de isotermas de sorção.

Na validação estatística da modelagem e simulação foi empregado o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) (Eq. 7) e a raiz quadrática do erro médio relativo ( $RMSE$ ) (Eq. 8). O  $R^2$  determina a eficiência dos modelos propostos frente à variação dos dados. Já o parâmetro estatístico  $RMSE$  é um critério que avalia a precisão das estimativas (SABLANI; BAIK; MARCOTTE, 2002).

$$R^2 = \frac{\sum_{k=1}^{\beta} (y_k^* - \bar{y})^2}{\sum_{k=1}^{\beta} (y_k - \bar{y})^2} \quad (7)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (y_k - y_k^*)^2} \quad (8)$$

## 2.4 Determinação das propriedades termodinâmicas

As propriedades termodinâmicas das isotermas de sorção de água são formas muito úteis para avaliar as interações água/material e o comportamento das moléculas e água na superfície e no interior dos alimentos (VILLA-VÉLEZ et al., 2012). Essas propriedades são importantes para avaliar do alimento acerca de operações de processamento como secagem, mistura e armazenamento (PÉREZ-ALONSO et al., 2006).

O cálculo do calor isostérico de vários alimentos são obtidos através da equação de Clausius-Clapeyron (Eq. 9) (IGLESIAS; CHIRIFE, 1976).

$$\frac{\partial(\ln a_w)}{\partial(1/T)} = -\frac{q_s}{R} \quad (9)$$

O calor isostérico de sorção representa a quantidade de energia necessária para evaporar a água adsorvida na fase líquida do produto (YOSHIDA, 1997). Essa propriedade é definida como a soma do calor líquido de sorção com a energia de vaporização da água pura.

$$Q_s = q_s + \lambda \quad (10)$$

Outro parâmetro termodinâmico de grande importância para o estudo da interação água/produto é a entropia molar diferencial. Esta parâmetro está associado com as forças de ligação ou repulsão no sistema (VILLA-VÉLEZ et al., 2012). A equação de Gibbs-Helmholtz (Eq. 11) apresenta a entropia relacionada com o calor isostérico de sorção, energia livre de Gibbs e a temperatura do sistema.

$$\Delta S = \frac{Q_s - \Delta G}{T} \quad (11)$$

A energia livre de Gibbs ( $\Delta G$ ) (Eq. 12) é descrita como:

$$\Delta G = RT \ln a_w \quad (12)$$

Combinando as Eqs. 11 e 12, obtém-se uma relação linear para o calor isostérico de sorção e a entropia molar diferencial variando com a temperatura.

$$-\ln(a_w) = -\frac{Q_s}{RT} - \frac{\Delta S}{R} \quad (13)$$

Desta forma pode ser obtida uma relação linear para estimar as propriedades termodinâmicas de interesse. Os valores de atividade de água podem ser preditos pelos modelos de ajuste apresentados na Tabela 3 utilizando os coeficientes das mesmas. O calor latente de vaporização da água pura é relacionado com a temperatura média de operação através da equação (AVIARA; AJIBOLA, 2002):

$$\lambda = 2502,2 - 2,39\bar{T} \quad (14)$$

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Isotermas de adsorção de água e modelagem matemática

A Tabela 4 apresenta os resultados experimentais da umidade de equilíbrio da farinha de cañihua em função da atividade de água e temperatura do meio.

T=30°C		T=45°C		T=60°C	
$a_w$	$X_e$ (kg/kg, b.s.)	$a_w$	$X_e$ (kg/kg, b.s.)	$a_w$	$X_e$ (kg/kg, b.s.)
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0470	0,0083	0,0544	0,0051	0,0621	0,0030
0,1677	0,0149	0,1833	0,0113	0,1986	0,0061
0,3574	0,0266	0,3770	0,0233	0,3956	0,0180
0,5711	0,0611	0,5848	0,0468	0,5986	0,0381
0,7549	0,1086	0,7624	0,0858	0,7691	0,0772

Tabela 4 – Umidade de equilíbrio experimental da cañihua.

Utilizando a metodologia de regressão não-linear, os modelos foram ajustados de forma a minimizar o erro relativo médio entre os dados experimentais e preditos. A Tabela 5 apresenta os valores dos parâmetros calculados para os ajustes acompanhados dos parâmetros estatísticos que indicam a eficiência dos ajustes.

Modelo	Parâmetros	T=30°C	T=45°C	T=60°C
GAB	$X_m$	0,0290	0,0223	0,0170
	$C_G$	3,7173	3,1754	2,3760
	$K$	1,0000	1,0010	1,0415
	$R^2$	0,9982	0,9993	0,9990
	RMSE	0,0036	0,0003	0,0004

<b>BET</b>	$X_m$	0,0290	0,0224	0,0187
	$C$	3,7173	3,1416	1,1065
	$R^2$	0,9982	0,9993	0,9990
	$RMSE$	0,0036	0,0003	0,0014
<b>Oswin</b>	$a$	0,0479	0,0354	0,0264
	$b$	0,7286	0,7605	0,9004
	$R^2$	0,9979	0,9998	0,9997
	$RMSE$	0,0021	0,0008	0,0007
<b>Henderson</b>	$a$	1,0081	1,0363	0,7533
	$b$	13,1769	20,9824	10,3561
	$R^2$	0,9949	0,9950	0,9988
	$RMSE$	0,0045	0,0018	0,0017
<b>Halsey</b>	$a$	0,0358	0,0338	0,0415
	$b$	0,9284	0,8747	0,7204
	$R^2$	0,9958	0,9956	0,9938
	$RMSE$	0,0015	0,0011	0,0013

Tabela 5 – Resultados dos parâmetros de ajuste para as isotermas de adsorção de água da cañihua.

Os resultados apresentados na Tabela 5 demonstram que todos os modelos testados descrevem satisfatoriamente as isotermas de adsorção, uma vez que seus coeficientes de determinação apresentam valores acima de 0,99. Porém, a melhor representação das isotermas de adsorção de água da farinha de cañihua foi obtida pelo ajuste com o modelo de GAB, pois apresentou maiores valores de coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

As isotermas de adsorção para a farinha de cañihua evidenciam curvas com comportamento sigmoidal (Figura 1), classificadas como isotermas do tipo II, segundo Brunauer et al. citado por Rizvi (1986). Isotermas de formas semelhantes foram verificadas para o coentro e para a farinha de milho (KUMAR, 1974; SILVA et al., 2010).

As isotermas de adsorção para as temperaturas em estudo, indicam que o aumento da atividade de água desencadeia em aumentos da umidade de equilíbrio da farinha. Verifica-se também, decréscimos da umidade de equilíbrio com o aumento da temperatura. Esse comportamento é justificado pelo aumento da pressão de vapor de água no ar e na superfície do produto, sendo maior na superfície do produto, pois esta apresenta maior número de moléculas de água que o ar. O aumento da pressão de vapor na superfície do produto implica em perdas mais significativas do conteúdo de umidade a fim de atingir o equilíbrio (FERREIRA; PENA, 2003).

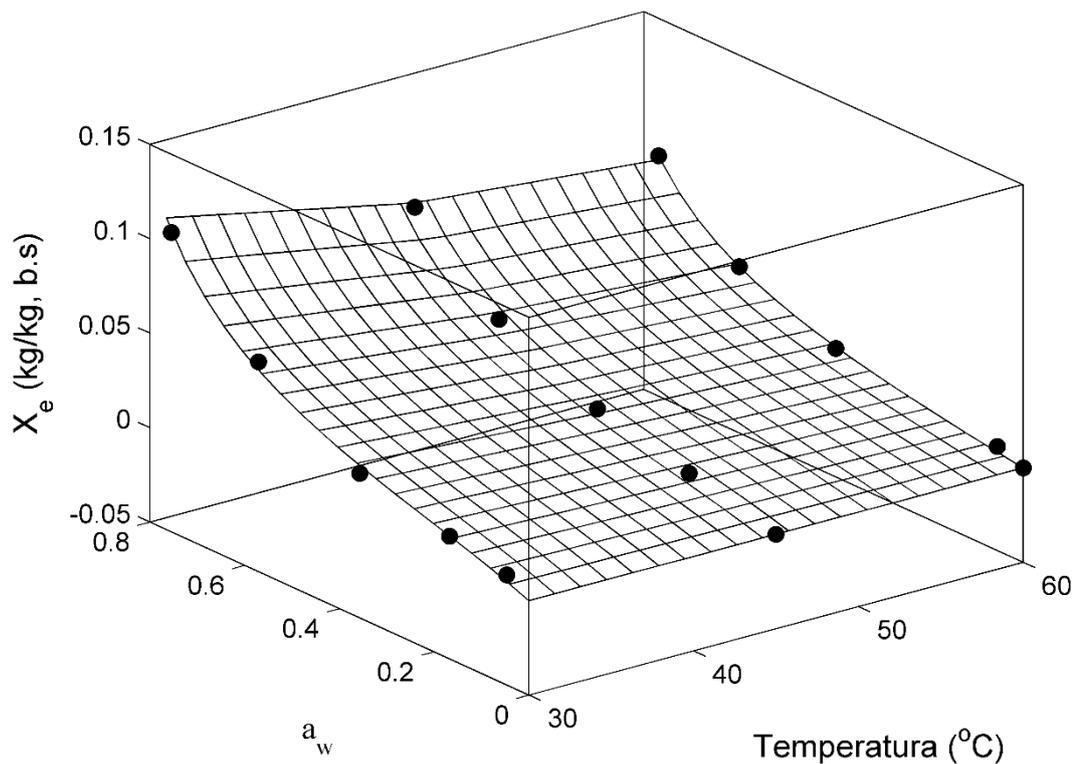


Figura 1 – Valores experimentais do conteúdo de umidade de equilíbrio da cañihua (●) e calculados (malha) através do modelo de GAB.

### 3.2 Propriedades termodinâmicas de sorção da água

O conhecimento do calor isostérico de sorção é fundamental para a análise dos fenômenos de transferência de calor e massa de um produto com respeito ao meio que o contém (AVIARA; AJIBOLA, 2002). Tendo em vista que o modelo de GAB é o que melhor ajusta os dados experimentais, faz-se necessário expressar a atividade de água em função dos parâmetros do modelo. Para isto, foram realizados tratamentos matemáticos para facilitar o procedimento. A (Eq. 15) apresenta o modelo de GAB reescrito de uma forma alternativa.

$$(C-1)K^2 a_w^2 + \left[ 2 - C \left( 1 - \frac{X_m}{X_e} \right) \right] K a_w - 1 = 0 \quad (15)$$

Sendo que os parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  foram criados para realizar substituições na (Eq. 15), fazendo que:

$$\alpha = (C-1)K^2 \quad (16)$$

$$\beta = \left[ 2 - C \left( 1 - \frac{X_m}{X_e} \right) \right] K \quad (17)$$

Substituindo  $\alpha$  e  $\beta$  na Eq. 15, obtém-se:

$$\alpha a_w^2 + \beta a_w - 1 = 0 \quad (18)$$

A (Eq. 18) é uma equação do segundo grau que apresenta duas soluções, no entanto, para obtenção da atividade de água será utilizada somente a raiz positiva da desta como foi feito por Villa-Vélez et al. (2012).

$$a_w = \frac{-\beta + \sqrt{\beta^2 + 4\alpha}}{2\alpha} \quad (19)$$

A Figura 2 apresenta as linearizações da equação de Clausius-Clapeyron, onde o coeficiente angular de cada reta relaciona o calor isostérico de adsorção de água da farinha de cañihua a um determinado valor de umidade de equilíbrio. Os coeficientes lineares relacionam a entropia diferencial molar de adsorção a um dado valor de umidade de equilíbrio.

A Figura 3 apresenta o calor isostérico e a entropia molar diferencial de sorção da farinha de cañihua. O calor isostérico se apresenta como função inversa da umidade de equilíbrio, apresentando crescimento exponencial com o decréscimo da umidade de equilíbrio da farinha de cañihua, sendo mais expressivo para umidades de equilíbrio abaixo de 0,02 (kg/kg, b.s). Resultados similares foram obtidos para o estudo das isotermas de adsorção do trigo (CORREA et al., 2005). Iglesias & Chirife (1976) atribuem esse comportamento ao fenômeno de sorção.

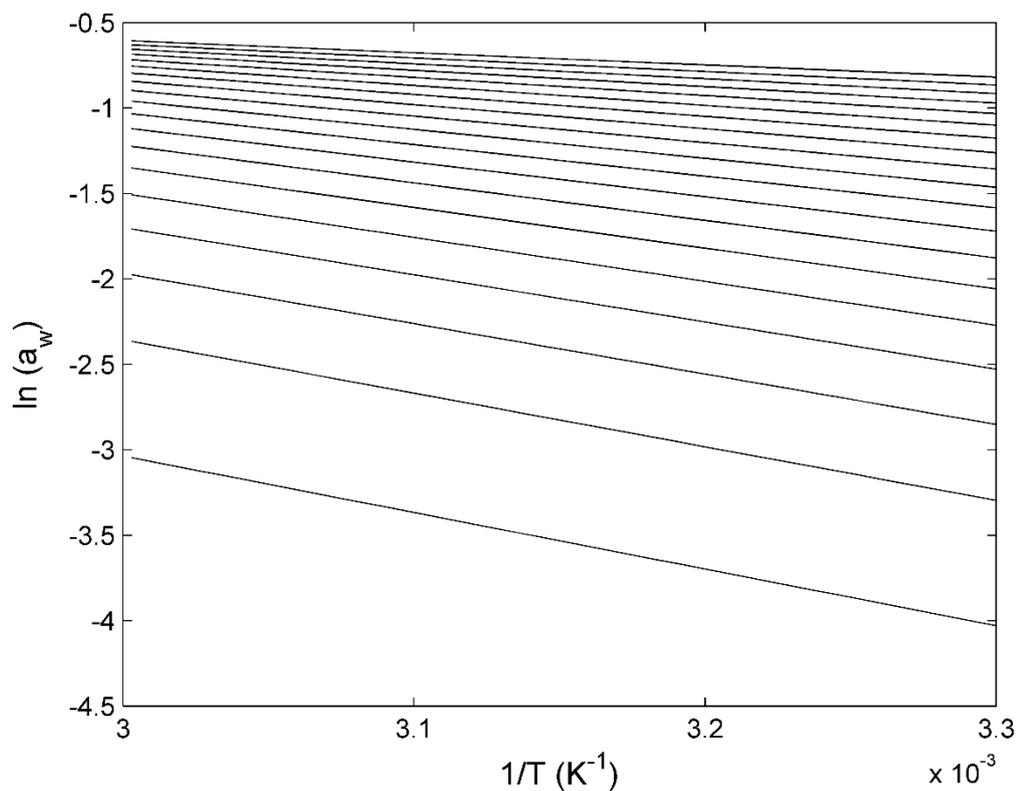


Figura 2 – Linearizações da equação Clausius-Clapeyron.

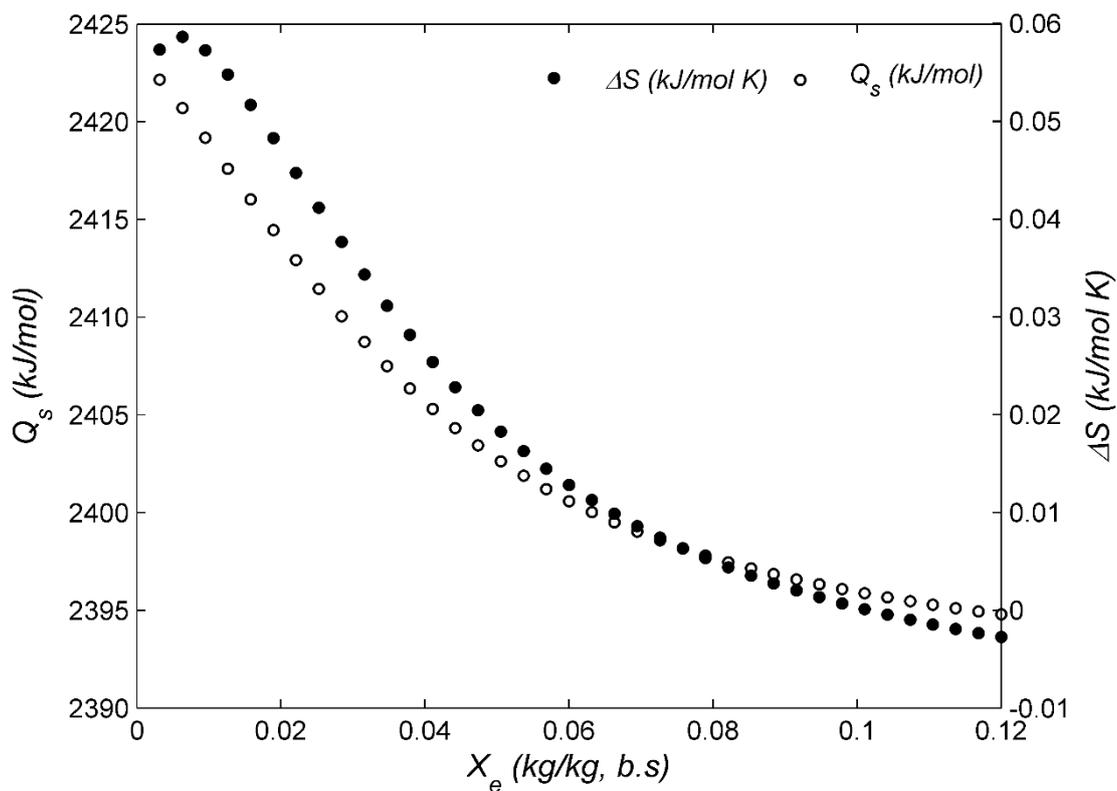


Figura 3 – Calor isostérico e entropia molar diferencial de sorção de água da farinha de cañihua.

O aumento do calor isostérico de sorção para baixas umidades de equilíbrio, justifica-se pelas diferenças nas forças de ligação da água com a superfície da farinha,

pois nos estágios iniciais de adsorção, existem sítios de sorção muito ativos, onde há altos níveis de energia de interação na superfície adsorvente (AL-MUHTASEB; MCMINN; MAGEE, 2004).

Durante o processo de adsorção, as moléculas de água vão se ligando aos locais de sorção com maior potencial ativo por ligações químicas. À medida que o conteúdo de umidade da farinha aumenta, restam locais menos ativos para a adsorção de água, locais onde há menor energia de interação água/produto, conseqüentemente, menor calor isostérico de sorção (WANG; BRENNAN, 1991).

O comportamento decrescente do calor isostérico, implica que com a redução do conteúdo de umidade presente na farinha, ocorre aumento de energia necessária para remoção de água do produto, o que implica em maior necessidade energética para secagem da farinha (PÉREZ-ALONSO et al., 2006).

A entropia molar diferencial apresenta comportamento semelhante ao calor isostérico, sendo função inversa da umidade de equilíbrio. Esta apresenta uma estimativa quanto a quantidade de sítios ativos disponíveis a um dado nível energético (AL-MUHTASEB; MCMINN; MAGEE, 2002). A medida em que a farinha de cañihua ganhar conteúdo de umidade do meio, os sítios ativos da mesma tendem a preencher-se de água, restando menos sítios ativos livres para a ocorrência do fenômeno de adsorção, por esse motivo as entropias associadas aos sítios ativos livres tornam-se menores.

## 4 | CONCLUSÕES

O modelo de GAB teve o melhor comportamento preditivo para as isotermas de adsorção da farinha de cañihua na faixa de temperatura de 30 até 60 °C. Este modelo continua sendo um dos mais importantes na predição do comportamento da umidade de equilíbrio frente à atividade de água, onde a cañihua inclui-se como outro material na vasta base de dados representada pelo modelo. Além disso, com os parâmetros linearizados do modelo de GAB foi possível determinar a entalpia e entropia diferenciais de sorção de água do material, sendo que para futuros trabalhos deverão ser exploradas propriedades integrais a fim de determinar as melhores condições de estabilidade do produto em função da atividade de água e/ou umidade de equilíbrio.

## REFERÊNCIAS

AL-MUHTASEB, A. H.; MCMINN, W. A. M.; MAGEE, T. R. A. Moisture Sorption Isotherm Characteristics of Food Products: A Review. **Food and Bioproducts Processing**, v. 80, n. 2, p. 118-128, 2002.

\_\_\_\_\_. Water sorption isotherms of starch powders: Part 1: mathematical description of experimental data. **Journal of Food Engineering**, v. 61, n. 3, p. 297-307, 2004.

ALMEIDA, F. D. A. C.; FONSECA, K. S.; GOUVEIA, J. P. G. D. SECAGEM NATURAL DE GERGELIM

E DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DE EQUILÍBRIO. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, p. 343-348, 1999.

AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. Gaithersburg: Association of Official Analytical Chemists International AOAC 1997.

AVIARA, N. A.; AJIBOLA, O. O. Thermodynamics of moisture sorption in melon seed and cassava. **Journal of Food Engineering**, v. 55, n. 2, p. 107-113, 2002.

BRUNAUER, S.; DEMING, L. S.; DEMING, W. E.; TELLER, E. On a Theory of the van der Waals Adsorption of Gases. **Journal of the American Chemical Society**, v. 62, n. 7, p. 1723-1732, 1940.

CORREA, P.; GONELI, A.; RESENDE, O.; MARTINAZZO, A. P.; BOTELHO, F. **COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS ESTÁTICO E DINÂMICO NA DETERMINAÇÃO DO EQUILÍBRIO HIGROSCÓPICO DAS ESPÍGAS DE MILHO**. ed. 2005. 141-149 p.

FERREIRA, C. D.; PENA, R. S. Comportamento higroscópico da farinha de pupunha (*Bactris gasipaes*). **Food Science and Technology**, v. 23, p. 251-255, 2003.

HALSEY, G. Physical adsorption on non-uniform surfaces. **The Journal of chemical physics**, v. 16, n. 10, p. 931-937, 1948.

HENDERSON, S. A basic concept of equilibrium moisture. **Agricultural engineering**, v. 33, p. 29-32, 1952.

IGLESIAS, H. A.; CHIRIFE, J. Prediction of the effect of temperature on water sorption isotherms of food material. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 11, n. 2, p. 109-116, 1976.

IPGRI. **Descritores para Cañahua (*Chenopodium pallicaule* Aellen)**. Roma: International Plant Genetic Resources Institute: 54 p. 2005.

JOWITT, R.; ESCHER, F.; HALLSTOM, B.; MEFFERT, H. F. T.; SPIESS, W. E. L.; VOS, G. **Physical properties methods of foods**. ed. London: Applied Science Publishers, 1983. p.

KUMAR, M. Water vapour adsorption on whole corn flour, degermed corn flour, and germ flour. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 9, n. 4, p. 433-444, 1974.

LABUZA, T. P. THE PROPERTIES OF WATER IN RELATIONSHIP TO WATER BINDING IN FOODS: A REVIEW<sup>1,2</sup>. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 1, n. 2, p. 167-190, 1977.

LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S.; LABUZA, T. Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Part II: Milk, coffee, tea, nuts, oilseeds, spices and starchy foods. **LWT - Food Science and Technology**, v. 18, p. 118-124, 1985.

MUJICA, A. Granos y leguminosas Andinas. In: HARNÁNDEZ, J.; BERMEJO, J., *et al* (Ed.). **Cultivos marginados: otra perspectiva de 1492**. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO, 1992. p.129-146.

OLIVERA, F. C. **Estudos tecnológicos e de engenharia para o armazenamento e processamento do pinhão**. 2008.

PAEZ, A. W.; EYZAGUIRRE, P. **La cañahua merece regresar**. Lima: LEISA - Revista agroecológica 2004.

PARK, K. J. B.; PARK, K. J.; CORNEJO, F. E. P.; FABBRO, I. Considerações termodinâmicas das isotermas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 10, n. 1, p. 83-94, 2008.

PEÑARRIETA, J. M.; ALVARADO, J. A.; ÅKESSON, B.; BERGENSTÅHL, B. Total antioxidant capacity and content of flavonoids and other phenolic compounds in canihua (*Chenopodium pallidicaule*): An Andean pseudocereal. **Molecular Nutrition & Food Research**, v. 52, n. 6, p. 708-717, 2008.

PÉREZ-ALONSO, C.; BERISTAIN, C. I.; LOBATO-CALLEROS, C.; RODRÍGUEZ-HUEZO, M. E.; VERNON-CARTER, E. J. Thermodynamic analysis of the sorption isotherms of pure and blended carbohydrate polymers. **Journal of Food Engineering**, v. 77, n. 4, p. 753-760, 2006.

REPO-CARRASCO-VALENCIA, R. **Introducción a la ciencia y tecnología de cereales y de granos andinos**. ed. Lima, Perú: Edi-Agraria, 1998. p.

REPO-CARRASCO-VALENCIA, R.; ACEVEDO DE LA CRUZ, A.; ICOCHEA ALVAREZ, J. C.; KALLIO, H. Chemical and Functional Characterization of Kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) Grain, Extrudate and Bran. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 64, n. 2, p. 94-101, 2009.

RIZVI, S. S. H. Thermodynamic Properties of Foods in Dehydration. In: RAO, M. A.; RIZVI, S. S. H., *et al* (Ed.). **Engineering Properties of Foods**. New York: Taylor and Francis Group, v.7, 1986. cap. 7, p.1-88.

SABLANI, S. S.; BAIK, O.-D.; MARCOTTE, M. Neural networks for predicting thermal conductivity of bakery products. **Journal of Food Engineering**, v. 52, n. 3, p. 299-304, 2002.

SALAS-VALERO, L. M. **Produção e caracterização de filmes biodegradáveis a base do pseudocereal canihua (*Chenopodium pallidicaule*)**. 2017. (PhD). Departamento de Tecnologia de Alimentos Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SILVA, A. S. A.; ALMEIDA, F. D. A. C.; ALVES, N. M. C.; MELO, K. D. S.; GOMES, J. P. Característica higroscópica e termodinâmica do coentro desidratado. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 41, p. 237-244, 2010.

VAN DEN BERG, C. Development of B.E.T.-Like Models for Sorption of Water on Foods, Theory and Relevance. In: SIMATOS, D. e MULTON, J. L. (Ed.). **Properties of Water in Foods: in Relation to Quality and Stability**. Dordrecht: Springer Netherlands, 1985. p.119-131.

VILLA-VÉLEZ, H. A.; VÁQUIRO, H. A.; BON, J.; TELIS-ROMERO, J. Modelling Thermodynamic Properties of Banana Waste by Analytical Derivation of Desorption Isotherms. **International Journal of Food Engineering**, v. 8, n. 1, p. 11, 2012.

WANG, N.; BRENNAN, J. G. Moisture sorption isotherm characteristics of potatoes at four temperatures. **Journal of Food Engineering**, v. 14, n. 4, p. 269-287, 1991.

YOSHIDA, C. M. P. **Cinética de secagem do milho superdoce**. 1997. 149 (MSc). Tecnologia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

## NANOTECNOLOGIA E MEDICINA: NOVAS PERSPECTIVAS PARA O FUTURO

### **Gustavo Marquezi Borges**

Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz  
Cascavel – Paraná

### **Douglas Daniel Dalle Corte**

Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz  
Cascavel – Paraná

### **Iago Bissani Pesavento**

Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz  
Cascavel – Paraná

### **Odirlei Antônio Magnagnago**

Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz  
Cascavel – Paraná

**RESUMO:** A nanotecnologia é a ciência e engenharia que compreende materiais e dispositivos projetados para interagir a nível molecular. Dessa forma, ela vem sendo cada vez mais utilizada na medicina atual, possuindo várias aplicações práticas, cujas as principais estão citadas, descritas e explicadas nesse artigo, tais como a utilização de nanotecnologia na melhoria da distribuição de fármacos aos seus sítios de ação, contraste para exames de imagens, na proteômica, na engenharia tecidual, no tratamento de câncer, no diagnóstico e tratamento de doenças que acometem o sistema nervoso central e doenças arteriais coronarianas. Nesse sentido, evidencia-se a importância e a contribuição dessa emergente

nanotecnologia aplicada a medicina, a qual tem projeção de desenvolvimento e crescimento, abordando cada vez mais áreas médicas e patologias tanto em termo de diagnóstico quanto tratamento. Como metodologia, utilizamos bases de dados, tais como Pubmed e ResearchGate, para contextualizar e apresentar o que é a nanotecnologia e demonstrar a vasta gama de possibilidades da sua integração ao âmbito das ciências da medicina e de futuras pesquisas.

**PALAVRA CHAVE:** nanotecnologia, aplicações da nanotecnologia, nanopartículas, engenharia tecidual, proteômica.

**ABSTRACT:** Nanotechnology is the science and engineering that comply materials and devices projected to interact in molecular level. This way, it has been used more in contemporary medicine, having many practical applications, which the main ones are cited, described and explained in this article, such as the utilization of nanotechnology in a better distribution of drugs to their sites, contrast for imaging procedures, in proteomics, tissue engineering, cancer treatment, diagnosis and treatment of neurological and coronaries arteries diseases. In such a manner, is possible to demonstrate the importance and contribution of this emergent nanotechnology applied to medicine, which

have the projection of development and growth, acting in a large area of medical areas and pathologies such in terms of diagnosis as in treatment. As methodology, it was used a data base, such as Pubmed and ResearchGate, to contextualize e present what is nanotechnology e demonstrate the large scale of possibilities of its integration on medical science and future researches.

**KEYWORDS:** nanotechnology, nanotechnology applications, nanoparticles, tissue engineering, proteomics.

## 1 | INTRODUÇÃO

A nanotecnologia pode ser definida como a ciência e engenharia envolvidas no projeto, síntese, caracterização e aplicação de materiais e dispositivos cuja organização funcional menor, em pelo menos uma dimensão, está na escala nanométrica ou um bilionésimo de metro. Esses materiais e dispositivos podem ser projetados para interagir com células e tecidos em um nível molecular (ou seja, subcelular), para aplicações em medicina e fisiologia, com alto grau de especificidade funcional (SILVA, 2004). Essas aplicações incluem, por exemplo, rótulos biológicos fluorescentes, liberação de drogas e genes, bio-deteção de patógenos, detecção de proteína, sondagem da estrutura do DNA, engenharia de tecidos, detecção de tumores, separação e purificação de moléculas biológicas e células, realce por contraste de RM e estudos fagocinéticos (SALATA, 2004). Ao manipular drogas e outros materiais em escala nanométrica, as propriedades fundamentais e a bioatividade dos materiais podem ser alteradas. Essas ferramentas podem permitir um controle sobre as diferentes características de drogas ou agentes, tais como (CARUTHERS, WICKLINE e LANZA, 2007):

- a. Alteração na solubilidade;
- b. Liberação controlada por curtos ou longos períodos;
- c. Liberação controlada, desencadeada ambientalmente;
- d. Liberação altamente específica em sítios-alvo.

Este artigo tem como objetivo apresentar o grande potencial da nanotecnologia aliada à medicina em seus diversos aspectos, incluindo o melhor entendimento dos processos fisiológicos, e como o futuro da medicina pode ser alterado com a sua vasta possibilidade de aplicações.

## 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Distribuição de fármacos

Em comparação com a distribuição convencional de medicamentos, os “nanossistemas” de primeira geração fornecem várias vantagens. Em particular,

eles podem melhorar a atividade terapêutica, prolongando a meia vida da droga, melhorar a solubilidade de fármacos hidrofóbicos, reduzir o potencial imunogênico e/ou liberar fármacos de um modo sustentado e desencadeado por estímulos. Desse modo, os efeitos colaterais tóxicos dos medicamentos podem ser reduzidos, assim como a frequência de administração (SHI, VOTRUBA, et al., 2010). Além disso, as partículas em nanoescala podem acumular-se passivamente em tecidos específicos (por exemplo, tumores) através do efeito de permeabilidade e retenção aumentada (EPR) (MATSUMURA e MAEDA, 1986).

## 2.2 Exames de imagem

Com propriedades únicas devido ao seu tamanho, estrutura modular e habilidades funcionais, nanopartículas biomédicas estão sendo desenvolvidas e usadas incessantemente na biomedicina. Na imagiologia médica, eles servem como agentes de contraste - detectáveis com múltiplas modalidades simultaneamente - e dão origem a novas técnicas para a aquisição cada vez mais rica de informações moleculares (BOBO, ROBINSON, et al., 2006). Em comparação com as moléculas pequenas, as nanopartículas apresentam vantagens notáveis como agentes teranósticos, como (1) sua estrutura modular e modificações de superfície permitem múltiplas funcionalidades (diminuição da imunogenicidade, direcionamento, imagens multimodais, terapia e farmacocinética controlada); (2) tecidos específicos podem ser selecionados passivamente (por exemplo, sistema reticuloendotelial ou rins), assim como muitos tumores através do efeito de “permeabilidade e retenção aumentada” (EPR); (3) As nanopartículas podem responder ao seu microambiente ou a estímulos externos para fornecer terapia e contraste apenas quando necessário (STYLIANOPOULOS, 2016) e (4) diferentes tipos de terapia podem ser eliciados pelas nanopartículas (ANDREOU, PAL, et al., 2017).

## 2.3 Tratamento de câncer

Para o tratamento de câncer, leva-se em consideração a incapacidade dos agentes quimioterápicos em agir, somente nas células cancerígenas (TONIOLO, EFTHIMIADOU, et al., 2018). De tal maneira, células saudáveis também são afetadas. Então, a dose máxima tolerada é limitada para prevenção de danos. Com os constantes avanços na nanotecnologia – em especial na capacidade de carreamento de fármacos – tornou-se possível modificar as propriedades físicoquímicas dos nanocarreadores: composição, tamanho, forma e propriedades da superfície (cargas, grupos funcionais, cobertura e ligantes). De tal maneira, houve aprimoramentos no quesito de solubilidade e estabilidade, assim como a obtenção de controle para liberação e entrega específica do agente terapêutico. Características significantes, em especial, para a oncologia (REBELO e REIS, 2018).

## 2.4 Proteômica

A proteômica engloba esforços para identificar e quantificar todas as proteínas de um proteoma, incluindo expressão, localização celular, interações, modificações pós-traducionais (PTMs), e volume em função do tempo, espaço e tipo de célula, tornando a investigação completa de um proteoma mais desafiadora do que sequenciamento de um genoma (ZHANG, FONSLow, et al., 2013). A fusão entre nanotecnologia e proteômica gerou a nanoproteômica, que é definida como uma disciplina da ciência que envolve a aplicação de técnicas proteômicas auxiliadas pela nanotecnologia para melhorar a sondagem e a avaliação de sistemas de proteínas (ARCHAKOV, 2007). Algumas das possíveis aplicações envolvem, por exemplo, superfícies nanoestruturadas, partículas nanoporosas, nanomateriais magnéticos, nanopartículas de ouro, nanomateriais à base de carbono, nanoestruturas poliméricas e tecnologia de pontos quânticos (KOBESSY, GULBAKAN, et al., 2014).

Não surpreendentemente, as nanopartículas encontraram amplo uso em aplicações proteômicas que podem ser resumidas em três áreas básicas: (a) estrutura para biossensores de proteínas, (b) ferramenta de purificação e enriquecimento de amostras, e (c) substrato para análise de espectrometria (LUONG-VAN, RODRIGUEZ, et al., 2013). Esses diversos usos aumentam a eficiência de várias aplicações proteômicas, incluindo técnicas relacionadas à espectrometria e ELISA – Ensaio de Imunoabsorção Enzimática. (KOBESSY, GULBAKAN, et al., 2014), por exemplo.

## 2.5 Engenharia tecidual

A engenharia tecidual (ET) é um campo interdisciplinar que integra a engenharia, ciência de materiais e biologia médica, que visam desenvolver substitutos biológicos para reparar, substituir, reter ou aprimorar tecidos e funções dos órgãos (HASAN, MORSHED, et al., 2018). Nas últimas décadas, o progresso contínuo nessa área levou a criação de tecidos implantáveis, alguns que já são utilizados em humanos, como pele e cartilagens, enquanto que, outros ainda estão sendo submetidos a testes clínicos – bexiga e vasos sanguíneos (SHI, VOTRUBA, et al., 2010). O uso das nanopartículas mostra resultados em vários aspectos como no aprimoramento de propriedades biológicas – acelerando as taxas de proliferação celular – resultados observados na ET de ossos (promovendo diferenciação osteogênica de uma célula precursora de osteoblastos, além de influenciar a formação de osteoclastos, por células hematopoiéticas. Ainda, demonstrou aprimoramento nas propriedades mecânicas, aumentando a força do citoesqueleto de algumas células – especialmente em cicatrizações. Além disso, vêm sendo usado para aprimorar as propriedades elétricas dos citoesqueletos, o que pode ser altamente benéfico na ET cardíaca (HASAN, MORSHED, et al., 2018).

## 2.6 Nanotecnologia e a neurologia

A incidência de distúrbios neurológicos, incluindo doença de Alzheimer (DA), doença de Parkinson (DP), esclerose múltipla (EM) e tumores cerebrais primários está aumentando - especificamente na população idosa (RIGGS, 2001). Entretanto, devido suas características como doenças do sistema nervoso central (SNC), a barreira hematoencefálica (BHE) apresenta um impedimento para seu tratamento e diagnóstico (CALVO, GOURITIN, et al., 2002). A BHE tem como propriedade ser permeável apenas à moléculas lipofílicas de peso molecular <600Da (BOADO, TSUKAMOTO e PARDRIDGE, 1998). Em particular, os sistemas envolvendo nanopartículas (NPs) estão fornecendo meios alternativos para a liberação direcionada de drogas para o SNC, bem como para novas aplicações terapêuticas (MODI, PILLAY, et al., 2009). Além disso, a capacidade das NPs de atravessar a BHE oferece maior oportunidade para o diagnóstico precoce de doenças do SNC, antes da inflamação da BHE e, também, a oportunidade de detectar e monitorar ainda mais a progressão da doença (KASTEREN, CAMPBELL, et al., 2009).

## 2.7 Doença arterial coronariana

A doença arterial coronariana (DAC) descreve um processo no qual a placa aterosclerótica se acumula no revestimento da artéria coronária, produzindo um estreitamento do lúmen da artéria, reduzindo a complacência da parede do vaso, gradualmente ou subitamente, causando uma perda de suprimento sanguíneo em certas porções do miocárdio (BRITO e AMIJI, 2007). Nesse sentido, a nanotecnologia permite a inclusão de estratégias para intervenção devida às suas propriedades, como por exemplo, sua grande capacidade de especificidade e seletividade. As nanopartículas podem fornecer uma variedade de sistemas de liberação de fármacos, que podem resolver muitos problemas dentro das artérias (KARIMI, ZARE, et al., 2016). Um exemplo de nanopartículas que apresentaram bons resultados nestas condições clínicas, por exemplo, são os Lipossomos, caracterizados por serem pequenas vesículas que têm uma forma esférica e são compostas de uma bicamada lipídica formada a partir de colesterol e fosfolípidios naturais e não tóxicos (TORCHILIN, 2005). As características dos lipossomos, como a biocompatibilidade (devido ao uso de lipídios naturais biologicamente seguros), tamanho nanométrico, a capacidade de adaptar a hidrofobicidade e a hidrofiliabilidade pode proporcionar especificidade tecidual aumentada para a liberação de fármacos hidrofóbicos no ambiente lipídico e para fármacos hidrofílicos no núcleo aquoso (GUPTA, 2011). Como resultado, a revascularização das artérias ocluídas in vivo é aumentada, juntamente com uma redução no risco de efeitos colaterais hemorrágicos (KARIMI, ZARE, et al., 2016).

### 3 | ANÁLISE E DISCUSSÕES

Dessa forma, fica evidente como a nanotecnologia contribui significativamente com várias áreas da medicina, tendo como uma de suas principais aplicações as nanopartículas farmacológicas, assim permitindo um maior acúmulo nos sítios específicos, menos efeitos colaterais e uma menor frequência de aplicação desses. Nesse sentido, foram desenvolvidas nanopartículas capazes de atravessar a barreira hematoencefálica permitindo melhores tratamentos, diagnósticos precoces e monitoramento de doenças que acometem o sistema nervoso central.

Outra aplicação é no sistema cardiovascular, que permite revascularização das artérias ocluídas in vivo, assim reduzindo o risco de efeitos colaterais hemorrágicos. Já na área oncológica, visto que houve aprimoramentos no quesito de solubilidade e estabilidade, assim como a obtenção de controle para liberação e entrega específica do agente terapêutico, o que permite especificidade e diminui efeitos colaterais.

Além disso, a nanotecnologia realizou avanços no campo de exames de imagem – sendo aplicada em contrastes mais específicos e possui vantagens notáveis como agente teranóstico -e da proteômica, melhorando a sondagem e a avaliação de sistemas de proteínas, aumentando a eficiência de técnicas relacionadas à espectrometria e ELISA. Ademais, O uso das nanopartículas na engenharia de tecidos mostra resultados em vários aspectos como no aprimoramento de propriedades biológicas – acelerando as taxas de proliferação celular e aumentando a força do citoesqueleto de algumas células, especialmente em cicatrizações.

### 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto, a nanotecnologia com suas mais diversas aplicações é de grande importância para a medicina atual, representando avanço, inovação e recurso, pois possibilita singulares métodos de diagnóstico, tratamento e monitoramento de diversas patologias. Dessa forma, espera-se que o futuro da Medicina seja cada vez mais integrado às nanotecnologias, levando a inclusão dessa nova tecnologia às mais diversas especialidades e áreas médicas, pois surgirão e se disseminarão novos exames e tratamentos baseados em nanotecnologias, visando melhorar a prevenção e o cuidado com a vida humana.

### REFERÊNCIAS

ANDREOU, C. et al. “**Molecular Imaging in Nanotechnology and Theranostics**” (MINT) Interest Group. *Molecular Imaging and Biology : MIB : The Official Publication of the Academy of Molecular Imaging*, v. 19, n. 3, p. 363–372, Junho 2017.

ARCHAKOV, A. **Introducing Nanoproteomics, a new section in proteomics**. *Proteomics*, v. 7, n. 24, p. 4409–4412, Dezembro 2007.

BOADO, R. J.; TSUKAMOTO, H.; PARDRIDGE, W. M. **Drug delivery of antisense molecules to the brain for treatment of Alzheimer's disease and cerebral AIDS.** Journal of Pharmaceutical Sciences, v. 87, n. 11, p. 1308–1315, Novembro 1998.

BOBO, D. et al. **Nanoparticle-Based Medicines: A Review of FDA-Approved Materials and Clinical Trials to Date.** Pharmaceutical Research, v. 33, n. 10, p. 2373–2387, Outubro 2006.

BRITO, L.; AMIJI, M. **Nanoparticulate carriers for the treatment of coronary restenosis.** International Journal of Nanomedicine, v. 2, n. 2, p. 143–161, Junho 2007.

CALVO, P. et al. **Quantification and localization of PEGylated polycyanoacrylate nanoparticles in brain and spinal cord during experimental allergic encephalomyelitis in the rat.** European Journal of Neuroscience, v. 15, n. 8, p. 1317-1326, Abril 2002.

CARUTHERS, S. D.; WICKLINE, S. A.; LANZA, G. M. **Nanotechnological applications in medicine.** Current Opinion in Biotechnology, v. 18, n. 1, p. 26-30, Fevereiro 2007.

GUPTA, A. S. **Nanomedicine approaches in vascular disease: a review.** Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine, v. 7, n. 6, p. 763-779, Dezembro 2011.

HASAN, A. et al. **Nanoparticles in tissue engineering: applications, challenges and prospects.** International Journal of Nanomedicine, v. 13, p. 5637-5655, 24 Setembro 2018.

KARIMI, M. et al. **Nanotechnology in diagnosis and treatment of coronary artery disease.** Nanomedicine (Lond), v. 11, n. 5, p. 513-530, Fevereiro 2016.

KASTEREN, S. I. V. et al. **Glyconanoparticles allow pre-symptomatic in vivo imaging of brain disease.** Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v. 106, n. 1, p. 18–23, Janeiro 2009.

KOBEISSY, F. H. et al. **Post-Genomics Nanotechnology Is Gaining Momentum: Nanoproteomics and Applications in Life Sciences.** OMICS, v. 18, n. 2, p. 111-131, Fevereiro 2014.

LUONG-VAN, E. et al. **Review: Micro- and nanostructured surface engineering for biomedical applications.** Journal of Materials Research, v. 28, n. 2, p. 165–174, Janeiro 2013.

MATSUMURA, Y.; MAEDA, H. **A New Concept for Macromolecular Therapeutics in Cancer Chemotherapy: Mechanism of Tumorotropic Accumulation of Proteins and the Antitumor Agent Smancs.** Cancer Research, v. 46, n. 12 Parte 1, p. 6387-6392, Dezembro 1986.

MODI, G. et al. **Nanotechnological applications for the treatment of neurodegenerative disorders.** Progress in Neurobiology, v. 88, n. 4, p. 272-285, Agosto 2009.

REBELO, A.; REIS, C. **Emergin therapeutic nanotechnologies in pancreatic cancer: advances, risks and challenges.** Therapeutic Delivery, v. 9, n. 10, p. 691-694, 2 Outubro 2018.

RIGGS, J. E. **Age-Specific Rates of Neurological Disease.** In: RIGGS, J. E. Functional Neurobiology of Aging. [S.l.]: Academic Press, 2001. Cap. 1, p. 3-11.

SALATA, O. V. **Applications of nanoparticles in biology and medicine.** Journal of Nanobiotechnology, v. 2, n. 3, Abril 2004.

SHI, J. et al. **Nanotechnology in Drug Delivery and Tissue Engineering: From Discovery to Applications.** Nano Letters, v. 10, n. 9, p. 3223-3230, 20 Agosto 2010.

SILVA, G. A. **Introduction to nanotechnology and its applications to medicine**. Surgical Neurology, v. 61, n. 3, p. 216 - 220, Março 2004.

STYLIANOPOULOS, T. **Intelligent drug delivery systems for the treatment of solid tumors**. Eur J Nanomed, v. 8, n. 1, p. 9–16, Janeiro 2016.

TONIOLO, G. et al. **Development of multi-layered and multi-sensitivie polymeric nanocontainers for cancer therapy in vitro evaluation**. Scientific Reports, v. 8, n. 1, 02 Outubro 2018.

TORCHILIN, V. P. **Recent advances with liposomes as pharmaceutical carriers**. Nature Reviews Drug Discovery, v. 4, n. 2, p. 145–160, Fevereiro 2005.

ZHANG, Y. et al. **Protein Analysis by Shotgun/Bottom-up Proteomics**. Chemical Reviews, v. 113, n. 4, p. 2343–2394, Fevereiro 2013.

## RISCO E DOLO EVENTUAL NA INTERFACE ENTRE ENGENHARIA E DIREITO

### **Antonio Maria Claret-Gouveia**

Departamento de Engenharia Urbana, UFOP  
Ouro Preto - Minas Gerais

### **Alberto Frederico Vieira de Sousa-Gouveia**

Procuradoria do Município, Prefeitura de Ouro Preto  
Ouro Preto - Minas Gerais

### **Miguel Paganin Neto**

ArcelorMittal Canadá, Mina de Mont Wright  
Fermont - Québec, Canadá

**RESUMO:** Esse trabalho parte da constatação de que existe uma tendência nos meios jurídicos de vários países de imputação de crime com dolo eventual a profissionais de Engenharia, quando são responsáveis técnicos por estruturas que sofrem colapso. Discutem-se os fundamentos desse tipo de imputação com o objetivo de limitá-la aos casos em que se evidenciem os elementos do tipo penal com dolo eventual. Emprega-se como metodologia o exame hermenêutico tanto de textos jurídicos quanto de textos técnicos. As conclusões apontam para a existência de um vazio normativo que não conceitua adequadamente perigo e risco. A avaliação de riscos é impedida pela simples falta da definição do risco máximo admissível nos textos normativos. Nessa situação, a assunção coletiva de perigo vem dando lugar à assunção de riscos que fundamenta a imputação de dolo

eventual.

**PALAVRAS-CHAVE:** Perigo, Risco Máximo Admissível, Dolo, Dolo Eventual.

**ABSTRACT:** This work is based on the fact that there is a tendency in the legal circles of several countries to impute crime with eventual intention to Engineering professionals, when they are responsible for technical structures that collapse. The reasons for this type of imputation are discussed herein with the purpose of limiting it to cases in which elements of the violation with intention is evidenced. The hermeneutic examination of both legal texts and technical texts is used as methodology. The conclusions point out that exists a normative void that consists of not adequately conceptualizing hazard and risk. Risk assessment is hampered by the simple lack of definition of the maximum permissible risk in normative texts. In this situation, the collective assumption of danger has given rise to the assumption of risks that grounds the imputation of eventual fraud.

**KEY WORDS:** Danger, Maximum Admissible Risk, Intention, Eventual Intention.

### 1 | INTRODUÇÃO

Uma das grandes contribuições da Constituição da República Federativa do Brasil-

CRFB (BRASIL, 1988) promulgada em 1988 foi a ampliação do papel do Ministério Público (MP) situando-o como o principal legitimado para propor a Ação Civil Pública-ACP por meio do Art. 129, III. Mais de uma vez, já foi reconhecido na literatura jurídica internacional (MACALLISTER, 2009) que o MP desempenha, no Brasil, importante papel na defesa do meio ambiente.

A segurança de segmentos sociais ou de grupos de pessoas nas situações de desastres ambientais é um interesse coletivo onde o MP tem atuado com relevo desde que os movimentos de defesa do meio ambiente se intensificaram em todo o mundo nos anos setentas. A ACP foi introduzida no ordenamento jurídico pátrio em 1985 por meio da Lei N° 7.347, inspirada nas *class actions* existentes no Direito estadunidense. Tratando-se de lei eminentemente processual, a Lei das ACPs tem base no conceito de responsabilidade civil, firmado nos Arts. 186, 187, 927 *caput* e parágrafo único do Código Civil.

AACP é precedida do competente inquérito civil levado a cabo pelo MP. Quando se verificam danos ambientais criminosos por ação ou por omissão do legitimado passivo, a CRFB-88 prevê no Art. 225, VII, &3º sanções penais e administrativas aos autores de atividades lesivas ao meio ambiente. O MP que é o titular das ações penais públicas, nessas situações, após investigação policial, oferecerá denúncia ao juiz da vara penal competente, não sem antes pedir medidas cautelares contra os supostamente responsáveis.

Ora, a Engenharia atua com frequência em projetos, laudos periciais e obras cuja segurança é interesse coletivo em face dos danos que um evento desastroso pode causar. Sejam os moradores de um edifício que temem desabamento, seja uma comunidade que se formou à jusante de uma cortina atirantada que agora se supõe instável, seja os habitantes de uma cidade que pode ser atingida pelo colapso de uma barragem, todos se constituem potenciais vítimas, ensejando a pronta ação acusatória do MP contra empresas e profissionais geotécnicos.

Um caso recentemente ocorrido na Itália é ilustrativo (HALL, 2011) dessa situação. Antes do grande terremoto de L'Áquila, ocorrido em 6 de abril de 2009, preocupados com uma série de pequenos abalos que se sucediam há mais de um mês, os cidadãos de L'Áquila pediram uma audiência pública com a defesa civil local. Compareceram à reunião, realizada em 31 de março de 2009, além do comandante da defesa civil, três sismólogos, um vulcanólogo e dois engenheiros sísmicos. Questionados sobre a ocorrência de um grande terremoto, ousaram afirmar que não esperavam um evento severo por razões tais e quais. Uma semana após, ocorreu o grande terremoto que deixou 309 mortos, grande número de feridos e edificações tombadas em ruína.

O MP italiano ofereceu denúncia contra os sete integrantes da comitiva que “afirmara”, como haviam entendido os cidadãos de L'Áquila, a segurança local contra a ocorrência de um terremoto de grande intensidade. Os sete profissionais foram julgados e condenados em primeira instância, pois ficou demonstrado pelo MP o dolo eventual de matar. Recorreram e, oito anos depois, a Suprema Corte os inocentou,

mantendo apenas uma pena para o comandante da defesa civil, certamente por relaxar na sua obrigação de prontidão emergencial.

Os prejuízos para os profissionais envolvidos no caso anterior são evidentes, movidos que foram para o cerne de um longo processo judicial, ainda que tenham sido declarados inocentes na sentença final. Outros casos noticiados (BBCNEWS, 2013) demonstram que a criminalização da prática profissional em situações que envolvem riscos, mais ou menos prováveis, é uma tendência atual em vários países. Ela decorre da grande confusão conceitual que subsiste na interface das Engenharias e do Direito.

## 2 | CONCEITO DE SEGURANÇA

Os conceitos de segurança normalmente encontrados em textos não especializados encerram ideias comuns na população: “a segurança é o estado, qualidade ou condição de uma pessoa ou coisa que está livre de perigos, de incertezas, assegurada de danos e riscos eventuais” (VILLAR; HOUAISS, 2009). Esse conceito reflete a longa tradição do “paraíso tropical”, epíteto que se atribuiu ao Brasil até o final dos anos oitentas para significar uma suposta imunidade a desastres naturais (STEVANUX et al., 2010).

Analisando esse conceito popular, observa-se que se trata da noção de uma segurança absoluta que afasta todos os riscos. Aí há uma evidente oposição entre «estar seguro» e «estar em risco». Mas, ela é inconcebível no mundo real: a experiência cotidiana mostra que a segurança de um sistema convive sempre com cenários de risco prováveis. Desse modo, segurança e risco deixam de ser antônimos radicais como seria de se imaginar pelo conceito popular, mas passam a ser tão próximos em sentido que se aproximam da classe de sinônimos. Permanece entre os conceitos de segurança e risco apenas uma oposição quanto às suas medidas, uma vez que se admite que quanto maior a segurança, menor o risco. (CLARET-GOUVEIA, 2017).

O conceito popular de segurança é encontrado subjacente em muitos textos técnicos e, particularmente em Direito, está na base de denúncias contra profissionais sob a acusação agir com dolo eventual na produção de resultados indesejáveis. Cite-se, para ilustrar, o seguinte excerto da denúncia em um rumoroso caso recente:

O motivo torpe dos homicídios ficou caracterizado pela constatação de que, mesmo absolutamente conscientes, desde a época do licenciamento do empreendimento, de todos os riscos envolvidos na construção e operação da barragem, os denunciados optaram por uma política empresarial de priorização de resultados econômicos em detrimento de práticas de segurança para o meio ambiente e para as pessoas potencialmente afetadas, assumindo todos os riscos da causação das mortes.

É relevante sublinhar que o texto foi lavrado para caracterizar uma das qualificadoras do crime de matar qual seja o motivo torpe. Nele é evidente a crença do acusador na oposição entre segurança e risco dos quais é possível, segundo afirma, ter «absoluto conhecimento».

O pressuposto da oposição entre segurança e risco é observável também na definição de segurança de barragem encontrada no Art. 2º, III, da Lei Nº 12.334 de 20 de setembro de 2010 (BRASIL, 2010): “segurança de barragem: condição que vise a manter a sua integridade estrutural e operacional e a preservação da vida, da saúde, da propriedade e do meio ambiente”. Isto é, como se depreende, existe uma “condição” em que nenhuma consequência negativa é admitida. No Art. 4º, III, dessa mesma lei, se estabelece como fundamento da Política Nacional de Segurança de Barragens a “garantia da segurança da barragem” que é responsabilidade do empreendedor.

Textos técnicos como os citados confirmam o conceito leigo de segurança. Quando profissionais de áreas de interface como o Direito são levados a avaliar o comportamento de outros profissionais não é de estranhar que vejam confirmados os conceitos que assimilaram pela via não científica. Acrescente-se que muitas vezes eles são brindados com documentos formais assinados por responsáveis técnicos como o que afirma “... atesto a estabilidade da barragem em consonância com a lei... e portarias vigentes”.

O mito da segurança absoluta atravessa o caminho do profissional de geotecnia e necessita ser banido de todos os textos normativos. Antes de propor textos substitutivos, examine-se com esse trabalho o conceito de risco.

### 3 | CONCEITOS DE PERIGO E RISCO

Perigo é um evento geológico, atmosférico ou hidrológico que tem o potencial de causar danos a pessoas, ao meio ambiente e ao patrimônio (WAMSLER, 2007). Um perigo natural não é necessariamente causado por forças naturais unicamente, mas pode ser induzido pela ação humana. Não se mede o perigo, mas se o percebe de forma própria conforme o conhecimento e a vivência de cada um. Uma comunidade pode perceber um perigo com sentimento que varia do simples receio ao pânico e pode até reagir a ele com indiferença.

Uma usina nuclear é uma fonte de perigos assim como uma rodovia ou uma indústria. Em geral, para identificar perigos oriundos de uma mesma fonte se utilizam cenários que se descrevem literalmente ou se traduzem por meio de critérios de falha do sistema considerado, no todo ou em parte. Ao cenário de perigo se associa um risco que é uma entidade física distinta.

Textos jurídicos costumam usar risco em lugar de perigo. Mesmo entre os profissionais da Engenharia, subsiste um conceito inadequado de risco cuja origem se identifica na área financeira. Desde o início do século XIX, a partir da institucionalização do controle da economia privada pelo Estado, expressões como alto, médio e baixo são utilizadas para classificar os riscos de investimentos (FLOOD, 2012). O fundamento dessa avaliação qualitativa de risco é o balanceamento dos parâmetros que impulsionam o desempenho favorável de um sistema contra os que o dificultam.

A noção qualitativa desse desbalanceamento corresponde ao conceito de coeficiente de segurança.

A análise de riscos é comumente feita em Engenharia, no Brasil, por métodos qualitativos, assentes sobre a atribuição subjetiva de pesos aos fatores favoráveis e aos desfavoráveis à estabilidade. Exemplo desse método qualitativo é o constante na Portaria N° 70.389 de 17 de maio de 2017 do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM).

Evolutivamente, buscando uma medida do risco, há métodos de avaliação que propõem o emprego do produto da probabilidade  $p$  de um evento desfavorável pela grandeza das suas consequências, calculadas monetariamente,  $C$ . O risco, nesses casos, é  $R = pC$ . Isto equivale, em sentido amplo, a identificar um desastre natural a um desastre meramente financeiro. Trata-se, de fato, de uma abordagem quantitativa unidimensional, adequada apenas para aplicações financeiras. Nesse método, a par de outros senões conceituais, existe a dificuldade de calcular monetariamente as várias consequências negativas do evento, inclusive os danos ambientais e à vida humana.

O método mais adequado para aplicações de Engenharia tem origem nas análises de riscos feitas em Engenharia Nuclear nos anos setentas e oitentas (KAPLAN; GARRICK, 1981). Por ele, o risco é uma entidade física tridimensional que pode ser expresso por um conjunto de triplas ordenadas do tipo  $\{(S_i, p_i, C_i)\}, i = 1, N$  sendo  $S_i$  o cenário de risco;  $p_i$ , a probabilidade de ocorrência desse cenário; e  $C_i$ , a grandeza das consequências associadas ao cenário considerado (HASSEL, 2010; CLARET-GOUVEIA et al., 2017).  $N$  é o número dos cenários mais prováveis.

Questionados sobre a natureza do risco, Kaplan e Garrick (1981) afirmam que o risco “é” essa entidade física, expressa matematicamente por esse conjunto de  $N$  triplas ordenadas  $\{(S_i, p_i, C_i)\}$ . Desse modo, na opinião desses autores, os métodos unidimensionais e os métodos qualitativos omitem dimensões essenciais do risco.

No que concerne ao interesse desse trabalho, tanto em Engenharia quanto em Direito, perigo e risco são utilizados, mas é evidente que frequentemente se emprega risco para significar perigo. O perigo é apenas uma das dimensões do risco; as duas outras são a probabilidade de um determinado evento perigoso e a grandeza das consequências a ele associadas. No Art. 225, §1º, V, da CRFB-88 (BRASIL, 1988) se encontra uma das ocasiões onde perigo teria sido mais bem empregado em lugar de risco:

Art. 225. § 1º - Para assegurar a efetividade desse direito, incumbe ao Poder Público:

...

*V - controlar a produção, a comercialização e o emprego de técnicas, métodos e substâncias **que comportem risco para a vida**, a qualidade de vida e o meio ambiente;*

...

Como se observa, o perigo de danos à vida e ao meio ambiente é inerente à produção e à comercialização de alguns bens e, do mesmo modo, ao emprego de técnicas, métodos e determinadas substâncias. Não se trata de risco, porque ao menos duas das três dimensões estariam faltando quais sejam a probabilidade do perigo (ou de um cenário cuja fonte é esse perigo) e a grandeza das consequências a ele associadas. Na mesma linha, veja-se, para ilustrar, o texto seguinte que se extraiu de um libelo de denúncia de crime contra a fauna decorrente do colapso de uma barragem:

*Registra-se que a mortandade de espécimes da fauna **foi praticada** com o emprego de métodos e instrumentos capazes de provocar destruição em massa, qual seja, a construção de barragem de rejeito pelo método de alteamento a montante, técnica construtiva de menor custo, mas que apresenta a **maior quantidade de riscos operacionais**.*

O que se pretende com a acusação acima é agravar a pena pela qualificação de crime cometido com “emprego de métodos e instrumentos capazes de provocar destruição em massa” previsto no Art. 29, §4º, VI, da Lei N° 9.605/98. Seria necessário dizer que a técnica de construção da barragem pelo método de alteamento a montante representa maiores perigos operacionais, na opinião do autor da denúncia. Barragens, como todas as construções humanas, são fontes de perigos. Esses perigos não são riscos e, não sendo riscos, não foram praticados por nenhum profissional para gerar o resultado incriminado, pois são perigos inerentes às barragens e supostamente aceitos coletivamente.

Ocorre também com frequência que o mesmo texto alterne perigo e risco com o mesmo sentido de perigo. Veja-se, por exemplo, o texto extraído de uma denúncia:

*Ora, seria escusado dizer que as consequências **colocaram em risco a saúde e a integridade**, não de um homem, mas de uma comunidade. (...) Como se não bastasse, há de ponderar que o rio federal (...) foi, como bem da União, na subespécie de uso comum do povo, **exposto a perigo de morte efetiva** pelo aumento excessivo da carga de demanda biológica de oxigênio, e conseqüente e danosa diminuição do oxigênio dissolvido.*

Normas internacionais (IEC 31010, 2009; AS-NZS, 2009) de gestão de riscos são mais cuidadosas no uso dessa terminologia. Em Inglês, para perigo se usa *hazard* e para risco, *risk*. O processo de Gestão de Riscos se inicia com uma fase de identificação de perigos que consiste em buscar conhecer onde, quando, por que e como eventos naturais podem gerar efeitos indesejáveis sobre um dado sistema. Segue-se uma fase de análise de riscos que consiste na determinação do risco, ou seja, da descrição de cenários de perigo, do cálculo da probabilidade de cada cenário e da determinação da grandeza das consequências que lhe são associadas. Uma terceira fase, a de avaliação de riscos, porém, é essencial qual seja a comparação dos riscos com o risco máximo admissível de modo a orientar a tomada de decisões.

Se se adota um conceito qualitativo de risco, em geral, duas situações são

comparadas com a definição de coeficientes de segurança. Embora seja uma avaliação qualitativa, inadequada para a tomada de decisões ou para a imputação de responsabilidade criminal, o coeficiente de segurança, porque é uma avaliação subjetiva da segurança relativa de dois ou mais sistemas, são muito utilizados. Mas, geram ilusão de segurança.

Quando se adota um conceito unidimensional de risco, duas situações distintas podem ser comparadas por meio dos valores diretos do risco em cada caso. Aqui o problema maior é o significado de cada um deles já que as consequências em cada caso são distintas e precisaram ser monetizadas para se conhecer o risco. Subjaz nessa comparação toda a questão da valoração de bens jurídicos como a vida humana, rios, fauna e flora a que antes se referiu.

A adoção do conceito tridimensional do risco permite uma avaliação de risco em caráter absoluto. Uma vez fixado o cenário de perigo, a sua probabilidade e a grandeza das consequências se comparam de forma independente. Nesse caso, não só a probabilidade do cenário não é atribuída de forma subjetiva, mas com base na modelação e simulação do comportamento físico dos sistemas, como as consequências podem ser avaliadas na sua diversidade.

Portanto, para se afirmar que há assunção de risco por parte de um profissional, é preciso que se tenha feito análise de riscos e que as normas aplicáveis determinem o risco máximo admissível possibilitando a sua avaliação. Se essas condições não se preenchem, não houve assunção de risco, mas apenas se está diante de um perigo que se percebe mais ou menos intenso conforme a vivência de cada um.

#### 4 | DOLO E DOLO EVENTUAL

Duas expressões notáveis são usadas em Direito contendo as palavras “perigo” e “risco”: “imminente perigo”, referindo-se ao estado ou à condição de um sistema ou de um conjunto de pessoas, e “assumiu o risco”, referindo-se à conduta de um agente. Uma análise, à luz do que se expôs anteriormente, permite concluir que essas expressões se aproximam no seu conteúdo semântico a “risco imminente” e “assumiu o perigo”, respectivamente.

Por “imminente perigo” se entende um determinado cenário de perigo cuja probabilidade de ocorrer é grande, muito superior à admissível, associado a consequências qualitativamente avaliadas como indesejáveis. Logo, quando se usa essa expressão, de alguma forma a tridimensionalidade do risco está satisfeita de modo suficiente para exigir uma decisão. “Imminente perigo”, portanto, se aproxima conceitualmente de “risco imminente”.

Quando se afirma que o agente “assumiu o risco” se diz, na verdade, que ele age com negligência diante de cenários de perigo cujas probabilidades não conhece e cujos resultados não avalia, embora certamente indesejáveis. Ora, essa é literalmente uma assunção do perigo inerente a toda empreitada humana. Logo, “assumiu o risco”,

se não for possível demonstrar que o agente o conhecia nas suas três dimensões e que o poderia comparar com um risco máximo admissível, significa “assumiu o perigo”, algo que, em geral, se faz coletivamente.

A questão conceitual subjacente no emprego da expressão “assumiu o risco” em Direito refere-se ao conceito de dolo. Em Direito Penal, quatro teorias (GRECO, 2018) se admitem para a análise da conduta cujo resultado se constatou lesivo a um bem protegido por lei.

Em apertada síntese, essas teorias são como segue. A primeira delas, denominada teoria da vontade, põe o seu foco na vontade livre e consciente do agente de ultrapassar a limitação da lei, agindo na forma prevista no tipo penal. A segunda e majoritária é a teoria do assentimento pela qual o agente reconhece a possibilidade do resultado lesivo de sua ação, mas a executa assumindo o risco de produzi-la. A terceira denomina-se teoria da representação pela qual não se deve avaliar se houve ou não assunção de risco, mas simplesmente se o agente, conhecendo a possibilidade do resultado lesivo, prossegue ou não na ação. A quarta teoria é a da probabilidade pela qual o dolo cinge-se ao conhecimento das chances do resultado lesivo: se o agente o considerava provável além de um limite admissível conhecido, haveria dolo eventual; se não, haveria culpa consciente ou negligência criminosa.

É relevante a consideração dessas teorias, porque frequentemente os libelos acusativos se valem de mais de uma delas com o fim de incriminar o agente. No caso da responsabilização de profissionais engenheiros por acidentes típicos dessa área de atuação profissional, podem-se afastar de imediato as teorias da vontade e do assentimento, uma vez que é inadmissível que se chegue a usar uma obra de engenharia como equipamento para cometer um crime.

As teorias da representação e da probabilidade se equivalem, sendo a primeira menos gravosa para o profissional engenheiro. Ambas subsistem em um vazio normativo de responsabilidade do Estado, que gera acusações descabidas e injustas. Esse vazio normativo consiste na adoção de conceitos qualitativos de risco ou quantitativos unidimensionais e na indefinição do risco máximo aceitável. A adoção do conceito tridimensional de risco e a inclusão nas normas do risco máximo aceitável poderiam afastar os raciocínios jurídicos que confundem perigos assumidos coletivamente com condutas profissionais de assunção de risco com dolo eventual.

No Código Penal Brasileiro, Art. 18 se lê que é doloso o crime, “quando o agente quis o resultado ou assumiu o risco de produzi-lo”. Na primeira hipótese, quando o agente quis o resultado, trata-se de dolo ordinário; na segunda, quando o agente assumiu o risco de produzir o resultado, trata-se de dolo eventual. Em geral, os engenheiros são denunciados por dolo eventual, se um resultado indesejável ocorre em um equipamento social onde estiveram incumbidos de projeto, manutenção ou verificação de estabilidade.

Para se afirmar que o agente assumiu o risco de produzir o resultado é de se supor que o risco fosse conhecido e avaliado. Conhecer o risco implica em conhecê-

lo nas suas três dimensões; avaliar o risco significa compará-lo a um risco máximo admissível. No Brasil, até os dias de hoje, raramente o risco é conhecido, em parte por deficiência normativa. Em consequência, o risco máximo admissível também não é definido nas normas nacionais.

Cabe aqui refletir sobre a valoração jurídica da informação contida em coeficientes de segurança que costumam ser fornecidos em análises de risco em engenharia. Se o método de análise é um método de balanceamento em que se atribuem pontos a parâmetros que favorecem a segurança e, do mesmo modo, a parâmetros que favorecem o risco, um coeficiente de segurança pode ser definido pela razão do total ou do produto dos primeiros para o total ou o produto dos segundos. Ora, como o método é subjetivo na atribuição de pontos, o coeficiente de segurança tem significado apenas relativo, isto é, dentre dois sistemas analisados pela mesma equipe, utilizando a mesma escala de pontuação, a que tiver maior coeficiente de segurança é a mais segura. Mas, não se pode dizer com esse método se o sistema é tão seguro quanto o socialmente desejável.

Se a análise é feita por um método unidimensional, o cenário de perigo é fixo *a priori* e, para esse cenário, se deve estabelecer a probabilidade e a grandeza das consequências a ele associadas. O risco somente pode se dar por conhecido se a probabilidade do cenário é calculada com base em árvore de falhas ou por simulação indireta de Monte Carlo. Porém, ainda permanece o problema da valoração jurídica das consequências.

Portanto, a rigor, o risco permanece desconhecido, se a análise e a avaliação são feitas com base em um conceito qualitativo ou quantitativo unidimensional de risco. No que tange à avaliação de riscos tridimensionais, existe no País um vazio normativo consistente na definição de um método de análise de riscos e no estabelecimento de um risco máximo admissível. Logo, assunção de risco no Brasil é, de fato, assunção de perigo que já se assumiu coletivamente em outra ocasião antes da implantação do sistema.

No texto seguinte, extraído de um libelo de denúncia em um rumoroso caso de rompimento de barragem, observa-se que o argumento da assunção de risco só pode perseverar no espaço da insuficiência normativa que é de responsabilidade do mesmo Estado que acusa:

Cabe ainda notar que, na vistoria realizada pela empresa (...), há indicativo que naquele local o fator de segurança estava em 1,3, ou seja, menor do que o exigido de 1,5, sendo que a análise daqueles instrumentos poderia ter pesado para uma negativa de estabilidade da barragem. Ao desprezar tais instrumentos e declarar a barragem estável, o responsável técnico assumiu o risco de declarar que a barragem estava estável e poderia continuar funcionando.

O raciocínio acusativo seria válido, se a análise de risco estivesse sendo feita por meio do conceito tridimensional de risco. Os coeficientes de segurança referidos são relativos e somente afirmam que uma barragem é mais segura que uma barragem teórica idealizada pelo proponente da escala de pesos do método. Tendo sido a

análise feita por outra pessoa que não o proponente do método, esses coeficientes de segurança perdem todo o significado e, particularmente, é destituída de significado a diferença entre o valor medido e o valor mínimo ilusoriamente estabelecido em norma.

Não há dolo eventual na assunção coletiva de perigo. A noção vaga de perigo não substitui o conhecimento objetivo do risco que é pressuposto da lei. A assunção dolosa do risco exige que se tenha conhecimento do risco nas suas três dimensões e que, comparado ao risco máximo aceitável estabelecido em norma, ele se revele superior. Se isto ocorre, pode ter havido imprudência ou negligência culposa ou, mesmo, culpa consciente.

## 5 | COMUNICAÇÃO DE RISCOS

A comunicação de riscos é uma etapa muito sensível da gestão de desastres naturais. Tanto as comunidades que podem ser afetadas pelas consequências negativas associadas a cenários de risco quanto as autoridades públicas devem ser alvo da comunicação de riscos. Normas internacionais (ISO 31010, 2009) enfatizam essa necessidade, obrigando à comunicação de riscos em todas as fases da gestão de desastres naturais.

A política empresarial típica tem sido a de ocultar os riscos associados a suas instalações o que certamente reduz o sucesso dos planos emergenciais, quando ocorre um evento desastroso e se torna um passivo empresarial para com as comunidades que podem vir a estar envolvidas em um desastre.

No caso de obras de engenharia, a percepção de riscos, que é por natureza um processo lento e gradual, deve levar as comunidades que podem ser impactadas por um colapso a assumi-las como fonte de perigos. A assunção coletiva de perigos é capaz de evitar acusações como a que segue, extraída de uma peça de denúncia em um caso de colapso de uma barragem:

A (...) e a (...), com o simples comportamento de decidirem construir e pôr em operação a barragem de rejeitos (...) criaram uma situação típica de risco, entendida essa como a probabilidade de danos físicos e patrimoniais para as comunidades humanas e os elementos do ecossistema situados à jusante do empreendimento.

As empresas, omitidas no texto, de fato criaram uma situação típica de perigo, porque, a rigor, toda obra humana é geradora de perigo. Na origem do processo de sua implantação, essa fonte de perigos deve ser aceita coletivamente e um nível máximo aceitável de risco deve ser definido. Desse modo, todos os envolvidos são *risktakers* (assumem o perigo racionalmente) e não apenas *stakeholders* (meros participantes).

Cuidado especial deve ser tomado em audiências públicas onde os profissionais de engenharia não devem afirmar deterministicamente a segurança de um equipamento. Pessoas sem a formação técnica tendem a interpretar interpretações ilusórias que primam por ignorar a persistência do perigo. Segundo depoimentos colhidos no desastre sísmico de L'Áquila, diversos cidadãos afirmaram ter ouvido da equipe de cientistas que não

havia risco de um grande terremoto e, por essa razão, se quedaram inertes sem a devida precaução (HALL, 2011).

É de se supor que ao provocar a assunção de perigo coletiva, a eficácia dos planos de emergências seja maior que a constatada no caso de colapso de barragem mencionado antes:

*O plano de ação emergencial da (...), além de não ser, como seria de se esperar, um plano ótimo, simplesmente não funcionou e, com isso, as vítimas tiveram sua capacidade de defesa gravemente comprometida. Não houve comunicação adequada, nem meio tempestivo de evitar o pior. De se notar que o plano de ação emergencial era obrigação legal da (...). Não um papel com um roteiro proforma, mas um documento que, de fato, possibilitasse que, na ocorrência do inesperado, a esperada ajuda da empresa se desse de modo efetivo a evitar prejuízo maior.*

O texto é ilustrativo de deficiências da gestão de riscos que podem ser sanadas pela comunicação de riscos. Na avaliação do autor do texto, “as vítimas tiveram sua capacidade de defesa gravemente comprometida” o que realmente se verifica, quando não se assumiu racionalmente a permanência dos perigos do equipamento social. Observa-se que o plano de emergências é criticado por falhar na comunicação do risco. Por último, é extremamente indesejável que os *stakeholders* se quedem inertes, esperando ajuda para evitar o perigo maior. Em um processo racional de assunção de perigo, cada um dos *risktakers* deve conhecer o seu papel no plano de emergências. Se isto não ocorre, a comunicação de riscos em todo o processo falhou.

A comunicação de riscos deve ser racional, baseando-se em objetividade na avaliação permanente do risco, ou seja, na comparação do risco medido com o risco máximo aceitável. Essa avaliação de risco objetiva e racional tem três pilares a preservar, sempre operacionais (SHRADER-FRECHETTE, 1991), a saber: (a) a possibilidade de que a avaliação de risco seja criticada por cientistas e pelos *stakeholders*; (b) a possibilidade de que a avaliação de risco mude perante novas descobertas sobre as probabilidades dos cenários e da grandeza das consequências; (c) a possibilidade de que a análise de riscos tanto preveja os riscos quanto a resposta humana a eles.

## 6 | CONCLUSÕES

Conclui-se que a criminalização profissional em Engenharia é ainda uma tendência nascida dos movimentos atuais em defesa dos direitos humanos e do meio ambiente. No Brasil, ela somente é viável, porque existe um espaço vazio normativo que deixa em uma zona ambígua os conceitos de perigo e risco. Ademais, o Estado, a quem incumbe por dispositivo constitucional a segurança das pessoas e a proteção do meio ambiente, nesta seara se omite, ou, pelo menos, tarda a definição de risco máximo aceitável, capaz de racionalmente distinguir as situações de assunção coletiva de perigo e de assunção de risco que, por sua vez, pode caracterizar o dolo eventual.

Órgãos de fiscalização profissional de engenheiros necessitam estabelecer métodos objetivos de análise e avaliação de riscos. Os métodos subjetivos podem

criar ilusão de segurança e impulsionar a criminalização da prática profissional. A comunicação de riscos merece maior atenção das empresas e das equipes que são interpeladas em audiências públicas ou via meios de comunicação. A ilusão de segurança é uma tendência dos cidadãos que contraria a assunção coletiva de perigo que, se não antecede a implantação do empreendimento, deve ocorrer pelo estabelecimento de uma relação dialógica entre empresas, cidadãos e Estado.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. **Constituição** (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 292 p.

BRASIL. Lei Federal nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4º da Lei no 9.984, de 17 de julho de 2000. Brasília, DF, 20 set. 2010.

BRASIL. Lei Federal nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Brasília, 1998. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9605.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9605.htm)>. Acesso em: 11 fev. 2019.

BRASIL. Decreto-lei nº 2.848, de 07 de dezembro de 1940. **Código Penal**. Rio de Janeiro, RJ, 07 dez. 1940.

BRASIL. Portaria nº 70.389, de 17 de maio de 2017. Cria o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração, o Sistema Integrado de Gestão em Segurança de Barragens de Mineração e estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem, das Inspeções de Segurança Regular e Especial, da Revisão Periódica de Segurança de Barragem e do Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração, conforme art. 8º, 9º, 10, 11 e 12 da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens - PNSB. Brasília, DF, 17 maio 2017.

BRITISH BROADCASTING CORPORATION NEWS. Lac Megantic disaster: Engineer blamed for Canada blast. Available at: [www.bbc.com/news/world-us-canada-23264397](http://www.bbc.com/news/world-us-canada-23264397). Accessed on March, 28, 2018.

CLARET-GOUVEIA, Antônio Maria et al. Revisiting the risk concept in Geotechnics: qualitative and quantitative methods. **REM - International Engineering Journal**, [s.l.], v. 70, n. 1, p.27-32, mar. 2017. (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0370-44672016700089>.

FLOOD, Mark D.. A brief history of financial risk and information. In: BROSE, Margarita S. et al. **Handbook of Financial Data and Risk Information**. Cambridge: Cambridge University Press, 2012. p. 1-32.

GRECO, Rogério. **Curso de Direito Penal**. 20. ed. Niterói: Impetus, 2018. 951p.

HALL, Stephen S. Scientists on trial: At fault? **Nature**, [s.l.], v. 477, n. 7364, p.264-269, 14 set. 2011. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1038/477264a>.

HASSEL, Henrik. **Risk and vulnerability analysis in society's proactive emergency management**. 2010. 225 f. Tese (Doutorado) - Faculty of Engineering, Department of Fire Safety

Engineering And Systems Safety, Lund University, Lund, 2010.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **IEC/ISO 31010:2009**: Risk management - Risk assessment techniques. 1 ed. Geneva: ISO, 2009. 176 p.

KAPLAN, Stanley; GARRICK, B. John. On The Quantitative Definition of Risk. **Risk Analysis**, [s.l.], v. 1, n. 1, p.11-27, mar. 1981. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1539-6924.1981.tb01350.x>.

MCALLISTER, Lesley K. On environmental enforcement and compliance: A replay to Professor Crawford's review of Making Law Matter: Environmental protection and legal institutions in Brazil. **George Washington International Law Review**, Davis, v. 40, p.649-649, 2009.

VILLAR, Mauro de Salles; HOUAISS, Antonio. **Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa 2009**. São Paulo: Objetiva, 2009. 1986 p.

STANDARDS AUSTRALIA. **AS/NZS 31000:2009**: INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Risk management - Principles and Guidelines. 1 ed. Wellington: Joint Australian New Zealand International Standard, 2009. 10 p

STEVAUX, José Cândido et al. Floods in urban area of Brazil. In: LATRUBESSE, Edgardo (Ed.). **Natural hazards and human exacerbated disaster in Latin America**: Development in earth surfaces processes. Amsterdam: Elsevier, 2009. Cap. 13. p. 245-266.

SHRADER-FRECHETTE, K. S. **Risk and rationality**. University of California Press, Berkeley, 2007. 313 p.

WAMSLER, Christine. **Managing Urban Disaster Risk**: Analysis and adaptation frameworks for integrated settlement development programming for the urban poor. Lund: Lund University, 2007. 318 p. (Thesis).

## AVALIAÇÃO ANTROPOMÉTRICA EM POSTOS DE TRABALHO DE MARCENARIAS NA CIDADE DE MOSSORÓ – RN

**Bruno Ítalo Franco de Oliveira**  
**Fabírcia Nascimento de Oliveira**  
**Carolina Mendes Lemos**  
**João Márcio Rebouças Araújo**  
**Thaynon Brendon Pinto Noronha**  
**Wandick Nascimento Dantas**  
**Pedro Renato Moraes Salgado**  
**Anderson Nunes Silva**  
**Ana Victoria Carlos Almeida**  
**Luara Karolenny Machado de Oliveira**  
**Jerfson Moura Lima**

**RESUMO:** A avaliação de processos de melhorias na produção, principalmente em situações de alteração ou inclusão de novas tecnologias, tem sido papel da ergonomia. Esta utiliza técnicas da antropometria para ajustar os postos de trabalhos dimensionados incorretamente. Assim, através das medidas antropométricas dos trabalhadores, os mecanismos, ferramentas e instrumentos são adequados às características exigidas pela atividade e capacidade do operário. O estudo teve como objetivo avaliar as máquinas dos ambientes de trabalho para verificar se estavam de acordo com o padrão antropométrico de seus operadores, bem como realizar o levantamento das variáveis antropométricas dos trabalhadores de três marcenarias do município de Mossoró-RN, propondo melhorias

para o sistema produtivo. Para isso foi realizado o perfil antropométrico dos funcionários através de medidas estáticas e dinâmicas e medições dos postos de trabalho. Analisou-se os dados por meio de média, desvio padrão e percentis 5, 50 e 95%. Os coeficientes de variação dos dados indicam uma distribuição homogênea ou média dispersão de distribuição de todos os valores encontrados, exceto a variável idade, que apresentou distribuição heterogênea. Entre as marcenarias analisadas apenas a altura das bancadas da marcenaria 3 está conforme o recomendado para as medidas dos trabalhadores (90 a 95 cm), porém as bancadas das marcenarias 1 e 2 encontram-se, em média, 10,3 e 2,0 cm, respectivamente, abaixo do recomendado. No geral, os postos de trabalho das marcenarias estudadas não estão conforme o recomendado para as medidas dos trabalhadores, necessitando de uma intervenção para preservar a saúde dos trabalhadores e o bom funcionamento da produção.

**PALAVRAS-CHAVE:** Antropometria; Ergonomia; Saúde do trabalhador.

**ABSTRACT:** An evaluation of production processes, especially in certain situations of basic change or new technologies, which has been the role of ergonomics. Use of this technique for anthropometry for improperly sized workspaces. Thus, through the anthropometric

tools of the workers, the mechanisms, tools and instruments are adequate to the characteristics required by the activity and capacity of the worker. The evaluation of the evaluation of the automated of standard machines of the works at the standard of the automated and standard in the field of Mossoró-RN, proposing improvement for the productive system. For the an error occurred in an archive of static and dynamic measurements and measurements of posts. Data were analyzed by mean, standard deviation and 5, 50 and 95% percentiles. The data selection coefficients were a homogeneous distribution or a mean distribution dispersion of all levels, except an age variable, which supported the heterogeneous distribution. Among the joineries analyzed there is only one height of the joinery benches 3 is as recommended for the measures of the workers (90 to 95 cm), but as the benches of joinery 1 and 2 are on average 10.3 and 2 , 0 cm, respectively, below the recommended level. In general, the works of carpenters studied do not agree with the type of measure of the workers, requiring an intervention to preserve the health of the workers and the good functioning of the production.

**KEYWORDS:** Anthropometry; Ergonomics; Worker's health.

## 1 | INTRODUÇÃO

A avaliação de processos de reforma na produção, em especial, o que concerne a temas voltados para a descrição de atividades e a inadequação dos postos de trabalho, principalmente em situações de alteração ou inclusão de novas tecnologias, tem sido papel da ergonomia. (ABRAHÃO, 2000).

Segundo Lida (2005) a ergonomia é a ciência que relaciona o indivíduo e o ambiente em que trabalha. Assim, a palavra ambiente contempla não somente o local propriamente dito no qual o indivíduo trabalha, mas também os equipamentos, os métodos e a organização deste trabalho. Relacionado a isso tudo estão as características do próprio indivíduo, que inclui suas habilidades e capacidades psicofiológicas, antropométricas e biomecânicas.

A antropometria se refere às dimensões físicas do homem. O nível de detalhamento e confiança das medidas antropométricas requerido pelas indústrias modernas é elevado, uma vez que um bom desempenho humano depende do dimensionamento correto do sistema, que caso não ocorra pode causar incômodo ao operário, assim como danos à sua saúde (Lida, 2005 e Silva et al., 2006).

Através das medidas antropométricas dos trabalhadores os mecanismos, ferramentas e instrumentos são adequados às características, exigidas pela atividade, e capacidade do operário (Lida, 2005). O mais correto seria que os postos de trabalho, bem como seus equipamentos, fossem projetados separadamente, de modo a satisfazer às necessidades de cada operário. Como na prática isso não é economicamente viável, os dimensionamentos antropométricos são feitos, em sua grande maioria, para atender a maior parte da população, assim como, também podem ser feitos para tipos intermediários ou indivíduos extremos (Silva et al., 2006).

Segundo Silva (1999) na maioria das marcenarias, as atividades são executadas em condições contrárias ao conforto e a saúde do trabalhador, elas exigem que as operações sejam realizadas, durante quase toda jornada de trabalho, na posição em pé, o que pode ocasionar dores musculares e cansaço físico.

O objetivo desse estudo foi avaliar as máquinas dos ambientes de trabalho para verificar se elas estavam de acordo com o padrão antropométrico de seus operadores, bem como realizar o levantamento das variáveis antropométricas dos trabalhadores de três marcenarias do município de Mossoró-RN e propor melhorias para o sistema produtivo.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em três marcenarias na cidade de Mossoró, situada no estado do Rio Grande do Norte. A jornada de trabalho consistia em 8 horas diárias, de segunda a sexta-feira, e 4 horas diárias no sábado, em todas as marcenarias analisadas. Foram analisados todos os trabalhadores das três marcenarias, totalizando 12 funcionários.

O perfil antropométrico dos funcionários foi adquirido através de medidas estáticas e dinâmicas do operador, fazendo uso de um papel milímetro com dois metros de altura e três metros de comprimento (Figura 1), e formulários para registro das medidas (Tabela 1). As medições antropométricas foram tomadas durante a jornada de trabalho, com os funcionários uniformizados e calçados. A análise dos dados antropométricos foi realizada por meio do cálculo de percentis, que consiste em uma separatriz dividindo a distribuição da frequência ordenada em 100 partes iguais.



Figura 1 - Papel milimetrado utilizado para obtenção das medidas.

Fonte: Autoria própria (2016).

1	Estatura – distância vertical do topo da cabeça ao solo.
2	Altura do nível dos olhos – distância vertical entre o solo e o nível dos olhos, na inserção da pálpebra superior e inferior.
3	Altura do ouvido – distância vertical entre o solo e a parte superior da orelha.
4	Altura do punho – distância vertical entre o solo e o punho, com os braços paralelos ao corpo.
5	Altura do joelho – distância vertical da parte central do joelho até o solo.
6	Altura do tórax – distância vertical entre o tórax e o solo.
7	Altura do mento – distância vertical entre o mento (queixo) e o solo
8	Altura do ombro – distância vertical do ombro, no acômio, até o solo
9	Altura do cotovelo – distância vertical da extremidade do cotovelo com o antebraço dobrado (90°).
10	Comprimento do braço – comprimento do braço, entre os ombros, no acrômio e cotovelo, em pega empunhadura (90°). Obtido pela diferença entre a altura dos ombros e altura do cotovelo.
11	Alcance inferior máximo até a extremidade do dedo médio – distância vertical entre o solo e o dedo médio com os braços paralelos ao corpo.
12	Alcance frontal da mão em pega empunhadura – comprimento do antebraço e mão fechada, indicando o alcance de comandos.
13	Alcance frontal do antebraço até a extremidade do dedo médio – comprimento do antebraço, entre o cotovelo e a extremidade do dedo médio. Obtido pela diferença entre o comprimento do membro superior e o comprimento do braço.
14	Largura da mão no polegar – largura da mão aberta medida do dedo polegar ao dedo mínimo.
15	Largura da mão fechada – largura da mão fechada medida do dedo polegar ao dedo mínimo
16	Idade.
17	Comprimento da mão até a extremidade do dedo médio – comprimento da palma da mão, com a mão aberta.

Tabela 1 - Descrição das variáveis antropométricas realizadas.

Fonte: Adaptado de Minette (1996); Panero e Zelnik (2002).

Posteriormente a realização das medições dos funcionários foram realizadas medições do posto de trabalho em si, das marcenarias analisadas e o registro fotográfico do ambiente de trabalho e de todas as máquinas utilizadas no processo de trabalho.. Essa análise aconteceu com as máquinas desligadas e sem a presença dos trabalhadores, objetivando a segurança. As medições foram realizadas em todas as máquinas presentes em todas as marcenarias, tendo sido analisadas quatorze máquinas ao todo, sendo quatro da marcenaria 1 (Figura 2), cinco da marcenaria 2 (Figura 3) e cinco da marcenaria 3 (Figura 4). Utilizando uma trena metálica, foram determinadas, nas máquinas, a altura de bancada, a altura do interruptor, a altura de manivelas e a distância da máquina ao trabalhador.



Figura 2 - Máquinas presentes da marcenaria 1.

Fonte: Autoria própria (2016).



Figura 4 - Máquinas presentes da marcenaria 2.

Fonte: Autoria própria (2016).

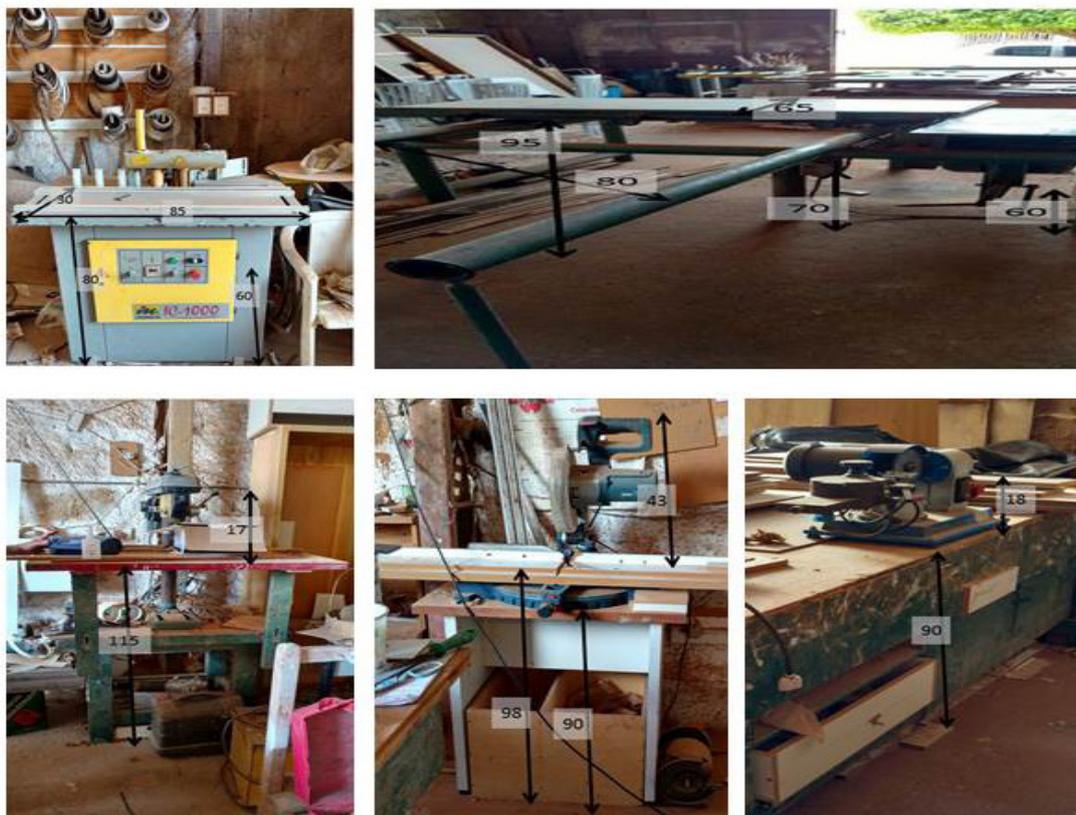


Figura 5 - Máquinas presentes da marcenaria 3.

Fonte: Autoria própria (2016).

### 3 | RESULTADOS

Na tabela 2 encontram-se os dados referentes às dimensões médias dos postos de trabalho das máquinas analisadas divididas por marcenaria.

Marcenaria 1
a) Seccionadora – a bancada encontra-se a 90 cm de altura e o interruptor a 120 cm de altura.
b) Coladeira de borda – dimensões da bancada: 89 cm de largura x 60 cm de comprimento e a 85 cm de altura. Distância horizontal do trabalhador ao início da alavanca é de 35 cm. O interruptor está a 74 cm de altura. A alavanca está a 125 cm de altura.
c) Furadeira de bancada – a bancada encontra-se a 128 cm de altura e o interruptor a 150 cm de altura.
d) Policorte – a bancada encontra-se a 108 cm de altura e o interruptor, assim como a manivela, a 167 cm de altura.
Marcenaria 2
a) Coladeira de borda – dimensões da bancada: 89 cm de largura x 60 cm de comprimento e a 82 cm de altura. Distância horizontal do trabalhador ao início da alavanca é de 38 cm. O interruptor está a 71 cm de altura. A alavanca está a 122 cm de altura.
b) Bancada de Apoio – dimensões da bancada: 230 cm de largura x 150 cm de comprimento e a 94 cm de altura.
c) Serra Esquadrejadeira – dimensões da bancada: 84 cm de largura x 100 cm de comprimento e a 90 cm de altura. Distância horizontal do trabalhador ao início da serra é de 34 cm. A manivela de regulagem está a 62 cm de altura. O interruptor está a 75 cm de altura.

d) Serra – dimensões da bancada: 160 cm de largura x 100 cm de comprimento e a 80 cm de altura. Distância horizontal do trabalhador ao início da serra é de 44 cm. O interruptor está a 65 cm de altura.
e) Furadeira – a bancada encontra-se a 93 cm de altura. O interruptor está a 166 cm de altura. A manivela está a 112 cm de altura.
Marcenaria 3
a) Coladeira de borda – dimensões da bancada: 85 cm de largura x 60 cm de comprimento e a 80 cm de altura. O interruptor está a 60 cm de altura.
b) Serra Esquadrejadeira – A bancada está a 95 cm de altura. O interruptor está a 70 cm de altura. A manivela de regulagem está a 60 cm de altura.
c) Furadeira – A bancada encontra-se a 115 cm de altura. O interruptor, assim como a manivela, está a 132 cm de altura.
d) Serra circular para moldura – A bancada encontra-se a 98 cm de altura. O interruptor, assim como a manivela, está a 141 cm de altura.
e) Amolador de disco – A bancada encontra-se a 90 cm de altura. O interruptor encontra-se a 108 cm de altura.

Tabela 2 - Dimensões médias dos postos de trabalho das máquinas analisadas.

Fonte: Autoria própria (2016).

- Marcenaria 1

Na figura 5 é mostrada a altura da bancada das máquinas utilizadas na marcenaria 1.

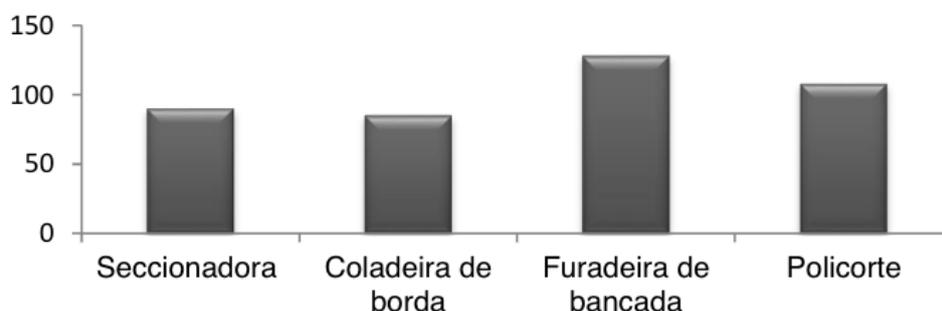


Figura 6 - Altura das bancadas das máquinas utilizadas na marcenaria 1.

Fonte: Autoria própria (2016).

Segundo Lida (2005), em geral, para trabalho em pé, a altura das bancadas deve ser de 5,0 a 10,0 cm menor do que a altura dos cotovelos. Na marcenaria 1 a altura das bancadas analisadas foi, em média, 85,7 cm, enquanto que a altura do cotovelo para o percentil de 5% foi 106 cm, ou seja, a altura da bancada está 10,3 cm abaixo do recomendado. Nessa marcenaria, em duas máquinas (Furadeira de bancada e Policorte) são desempenhados trabalhos de precisão e segundo Lida (2005, p. 147) “para trabalhos de precisão é conveniente uma superfície ligeiramente mais alta, até 5 cm acima do cotovelo”. A média da altura da bancada dessas duas máquinas é 118 cm, e seguindo o recomendado deveria ser 111 cm, ou seja, está 7 cm acima do recomendado.

Isso significa que as bancadas precisam ser redimensionadas, para tornar o ambiente confortável para os funcionários. A seccionadora foi a máquina que mais



A tabela 3 apresenta às medidas antropométricas, percentis 5, 50 e 95%, média, desvio padrão, coeficiente de variação, conforme Bussacos (1997).

Descrição das variáveis antropométricas realizadas. 5%		Percentil			Média	Desvio	CV (%)
		50%	95%				
1	Estatura.	167,2	169	183,4	174	9,866	5,68
2	Altura do nível dos olhos.	155	155	172,1	161	10,970	6,79
3	Altura do ouvido.	152,1	153	170,1	159	11,269	7,08
4	Altura do punho.	69	78	85,2	77	9,018	11,66
5	Altura do joelho.	30,2	32	41,9	35	7,000	20
6	Altura do tórax.	118,2	120	134,4	125	9,866	7,91
7	Altura do mento.	143,2	145	161,2	150	11,015	7,32
8	Altura do ombro.	135,1	136	153,1	142	11,269	7,93
9	Altura do cotovelo.	106,1	107	117,8	111	7,234	6,53
10	Comprimento do braço.	29	29	35,3	31	4,041	12,89
11	Alcance inferior máximo até a extremidade do dedo médio.	54,9	63	68,4	62	7,550	12,17
12	Alcance frontal da mão em pega empunhadura.	38	38	38,9	38	0,577	1,50
13	Alcance frontal do antebraço até a extremidade do dedo médio.	44,6	50	51,8	49	4,163	8,55
14	Largura da mão no polegar.	14,2	16	19,6	17	3,055	18,33
15	Largura da mão fechada.	8	8	8,9	8	0,577	6,92
16	Idade.	20,9	29	36,2	28,67	8,505	29,66
17	Comprimento da mão até a extremidade do dedo médio.	15,2	17	17,9	17	1,528	9,16

Tabela 3 - Medidas antropométricas dos trabalhadores da marcenaria 1.

Fonte: Autoria própria (2016).

Segundo Bussacos (1997), um coeficiente de variação menor do que 10% expressa pouca variação entre a distribuição ou todos os valores estão muito próximos da média, sendo então uma distribuição homogênea. Caso o coeficiente de variação esteja entre 10 e 30%, existe uma distribuição média entre as variáveis. E o coeficiente de variação sendo superior a 30%, expressa uma grande variação, e os dados distribuem heterogeneamente. Nas medições realizadas no presente trabalho, nenhuma mostrou coeficiente de variação maior do que 30%.

As variáveis, altura do punho, altura do joelho, comprimento do braço, alcance inferior máximo até a extremidade do dedo médio, largura da mão no polegar, idade apresentaram uma distribuição média entre as variáveis. As demais variáveis apresentaram distribuição homogênea.

Os funcionários dessa marcenaria apresentaram uma idade média de 28,7 anos. Aqueles que fazem parte do percentil 0,95 representam os trabalhadores com maiores idades, que conseqüentemente apresentam maiores chances de sentir fadiga e cometer falhas, isso se deve segundo Guimarães et al. (2016) as suas condições físicas e pelo fato da maioria das marcenarias de pequeno porte, pouco investirem em reciclagens e especializações.

Utiliza-se o alcance inferior máximo até a extremidade do dedo médio para estabelecer a altura inferior máxima de comandos, para isso se utiliza o percentil 5%, que corresponde a 55 cm de altura. Para estabelecer a distância de comandos a serem empunhados utiliza-se o percentil 5% do alcance frontal da mão em pega empunhadura, correspondendo a 38 cm de comprimento.

O correto dimensionamento de máquinas que empreguem serras depende do alcance frontal da mão em pega empunhadura e do alcance frontal do antebraço até a extremidade do dedo médio, uma vez que exigem que o trabalhador esteja mais próximo da superfície de corte para realizar o processamento da madeira, utiliza-se assim o percentil de 5%, correspondendo a 38 cm e 44,6 cm a área ótima para realizar essa atividade.

Para a largura mínima de introdução da mão nos cabos das máquinas utiliza-se a medida da largura da mão no polegar sendo recomendável utilizar o percentil 95% que corresponde a 19,6 cm, pois reúne uma maior quantidade de funcionários. Por meio da largura da mão fechada obtém-se a menor profundidade para introdução da mão nos cabos das máquinas, nesse caso também se emprega o percentil 95% (9 cm). Para o dimensionamento de luvas utiliza-se o comprimento da mão na extremidade do dedo médio, com percentil 5% e percentil 95%, correspondendo a 15,2 cm e 17,9 cm respectivamente.

O interruptor para acionar as máquinas encontra-se acima do alcance superior máximo dos funcionários (percentil 5%, 135,1 cm) na furadeira de bancada (150 cm) e no policorte (167 cm); e encontra-se mais baixo na coladeira de borda, com 74 cm, entretanto está acima da altura inferior máxima de comandos, que é 54,9 cm utilizando o percentil 5%. Por se tratarem de comandos poucas vezes utilizados durando o dia de trabalho, não provocam danos aos trabalhadores e não necessitam ser reposicionados.

A distância máxima entre o trabalhador e a máquina que o mesmo opera é de 44,6 cm, percentil 5%, nesse quesito a marcenaria atendeu o recomendado uma vez que na coladeira de borda a distância horizontal do operador ao início da alavanca é de 35 cm.

- Marcenaria 2

Na figura 7 é mostrada a altura da bancada das máquinas utilizadas na marcenaria 2.

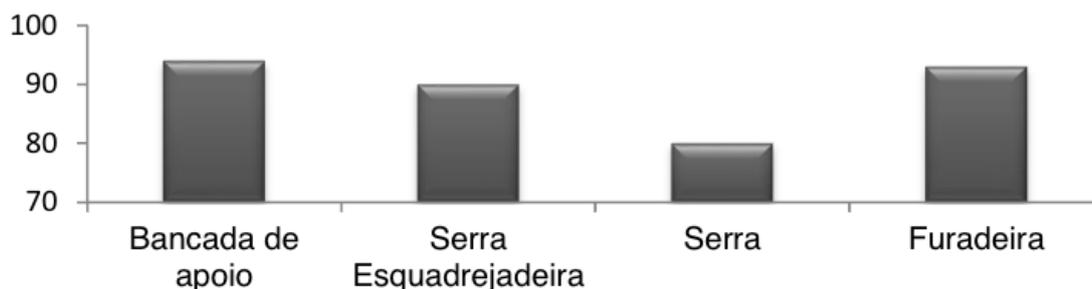


Figura 8 - Altura das bancadas das máquinas utilizadas na marcenaria 2.

Fonte: Autoria própria (2016).

Na marcenaria 2 a altura das bancadas analisadas foi, em média, 88 cm, enquanto que a altura do cotovelo para o percentil de 5% foi 100 cm, o recomendado seria que a altura das bancadas fica-se entre 90 e 95, ou seja, a altura da bancada está 2 cm abaixo do recomendado. Isso mostra que as bancadas necessitam ser modificadas, para transformar o ambiente confortável para os trabalhadores. A bancada de apoio se aproximou mais da altura recomendada para bancada, com 94 cm, ficando entre a faixa recomendada de 90 e 95 cm. Já a serra foi a máquina mais baixa, com 80 cm de altura, estando 10 cm abaixo do mínimo recomendado. A furadeira desempenha operações de precisão e seu dimensionamento é diferente das demais, podendo chegar até 105 cm de altura, entretanto a mesma encontra-se com 93 cm, 12 cm abaixo do recomendado.

Os funcionários são considerados altos, suas alturas variaram de 160 a 180 cm, com média 170 cm. Para o ângulo superior e inferior de visibilidade, é ideal adotar o percentil de 5%, que equivale a 150 cm, para adequar a todos os trabalhadores.

Para o alcance inferior, emprega-se o percentil 5%, que equivale a 67 cm, sugerido nesse caso, pois o alcance de um funcionário mais alto é maior do que o de funcionários baixos.

Para os comandos utilizados frequentemente assim, adota-se o percentil 5%, que equivale a 48 cm.

Através da altura do tórax estabelece-se a altura máxima de comandos a serem acionados frontal ou lateralmente, para isso emprega-se o percentil 5%, que corresponde a 91 cm de altura, para garantir que fique adequado para todos.

A altura do ombro é empregada para o limite de visibilidade com o ombro, nesse caso é utilizado o percentil 5%, correspondendo a 129 cm. A tabela 4 mostra às medidas antropométricas, percentis 5, 50 e 95%, média, desvio padrão, coeficiente de variação, conforme Bussacos (1997).

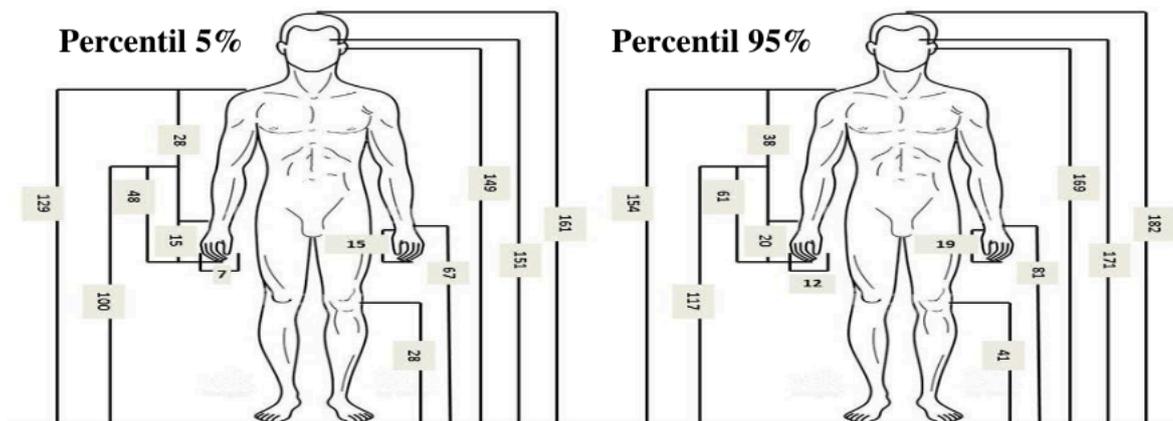


Figura 9 - Medidas antropométricas dos trabalhadores avaliados na marcenaria 2.

Fonte: Autoria própria (2016).

	Descrição das variáveis antropométricas realizadas.	Percentil			Média	Desvio	CV (%)
		5%	50%	95%			
1	Estatura.	161	167	182	169,70	8,72	5,14
2	Altura do nível dos olhos.	151	156	171	158,92	8,41	5,29
3	Altura do ouvido.	149	155	169	157,50	8,06	5,12
4	Altura do punho.	67	70	81	72,35	5,93	8,20
5	Altura do joelho.	28	32	41	33,51	5,20	15,53
6	Altura do tórax.	91	120	144	120,55	21,64	17,95
7	Altura do mento.	137	143	158	145,66	8,94	6,14
8	Altura do ombro.	129	135	154	138,63	10,91	7,87
9	Altura do cotovelo.	100	103	117	106,31	7,38	6,94
10	Comprimento do braço.	28	31	38	32,20	4,13	12,83
11	Alcance inferior máximo até a extremidade do dedo médio.	47	52	58	52,31	4,44	8,49
12	Alcance frontal da mão em pega empunhadura.	39	43	48	43,06	3,83	8,90
13	Alcance frontal do antebraço até a extremidade do dedo médio.	48	53	61	53,88	5,31	9,86
14	Largura da mão no polegar.	15	16	19	16,57	1,84	11,08
15	Largura da mão fechada.	7	10	12	9,51	2,08	21,89
16	Idade.	19,30	34	42,80	32,11	9,53	29,67
17	Comprimento da mão até a extremidade do dedo médio.	15	0,17	20	17,40	1,75	10,06

Nessa marcenaria as variáveis altura do joelho, altura do tórax, comprimento do braço, largura da mão no polegar, largura da mão fechada, idade e comprimento da mão até a extremidade do dedo médio apresentam distribuição média entre as variáveis. As demais variáveis são consideradas homogêneas. A idade média dos trabalhadores dessa marcenaria é 32,11 anos.

Com o alcance inferior máximo até a extremidade do dedo médio estabeleceu-se a altura inferior máxima de comandos, para isso se utiliza o percentil 5%, que corresponde a 47 cm de altura. Para estabelecer a distância de comandos a serem empunhados utiliza-se o percentil 5% do alcance frontal da mão em pega empunhadura, correspondendo a 39 cm de comprimento.

Para dimensionar corretamente máquinas que empreguem serras utiliza-se o alcance frontal da mão em pega empunhadura e do alcance frontal do antebraço até a extremidade do dedo médio, uma vez que exigem que o trabalhador esteja mais próximo da superfície de corte para realizar o processamento da madeira, portanto emprega-se o percentil de 5%, correspondendo a 39 cm e 48 cm a área ótima para realizar essa atividade.

Utiliza-se a medida da largura da mão no polegar para a largura mínima de introdução da mão nos cabos das máquinas, assim emprega-se o percentil 95% que corresponde a 15 cm, por reunir mais funcionários. Através da largura da mão fechada obtém-se a menor profundidade para introdução da mão nos cabos das máquinas, nesse quesito se utiliza o percentil 95%, 7 cm. Para o dimensionamento de luvas utiliza-se o comprimento da mão na extremidade do dedo médio, com percentil 5% e percentil 95%, correspondendo a 15 cm e 20 cm respectivamente.

O interruptor para acionar as máquinas está acima do alcance superior máximo dos trabalhadores (percentil 5%, 129 cm) na furadeira (166 cm); e está mais baixo na coladeira de borda, com 71 cm, na serra esquadrejadeira, com 75 cm, e na serra com 65 cm, todavia está acima do alcance inferior máximo de comandos, que é 47 cm utilizando o percentil 5%. Como consistem em comandos poucas vezes utilizados durante o dia de trabalho, não provocam danos aos trabalhadores e não necessitam ser reposicionados.

A distância máxima entre o trabalhador e a máquina que o mesmo opera é de 48 cm, percentil 5%, nesse quesito a marcenaria atendeu o recomendado, com folga de 10 cm, já que na coladeira de borda a distância horizontal do operador ao início da alavanca é de 38 cm.

- Marcenaria 3

Na figura 9 é mostrada a altura da bancada das máquinas utilizadas na marcenaria 3.

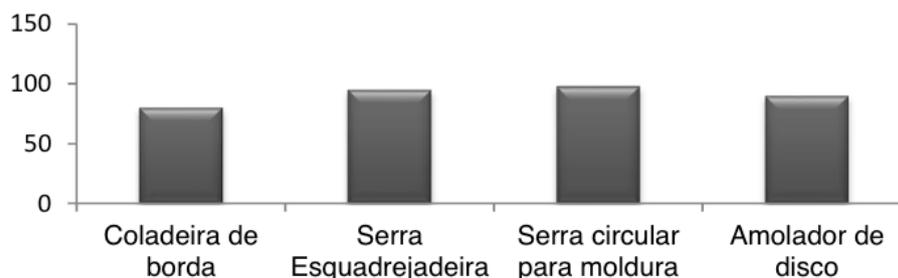


Figura 10 - Altura das bancadas das máquinas utilizadas na marcenaria 3.

Fonte: Autoria própria (2016).

Na marcenaria 3 a altura das bancadas analisadas foi, em média, 90,75 cm, estando assim adequada para as medidas antropométricas dos trabalhadores.

Os funcionários são considerados altos, suas alturas variaram de 160 a 168 cm. Utilizando os mesmos parâmetros empregados nas demais marcenarias temos que as medidas ideais para adequar a todos os trabalhadores: ângulo superior e inferior de visibilidade, 151 cm; alcance inferior, 66 cm; para comandos utilizados com frequência distancia de 50 cm; altura máxima de comandos a serem acionados frontal ou lateralmente, 121 cm de altura; limite de visibilidade com o ombro, 130 cm; altura inferior máxima de comandos, 45 cm de altura; distância de comandos a serem empunhados, 43 cm de comprimento; largura mínima de introdução da mão nos cabos das máquinas, 17 cm; menor profundidade para introdução da mão nos cabos das máquinas, 11 cm; para dimensionamento de luvas, 15 cm e 16 cm.

O interruptor para acionar as máquinas está acima do alcance superior máximo dos trabalhadores (percentil 5%, 130 cm) na furadeira (132 cm) e na serra para moldura (141 cm). Por consistirem em comandos poucas vezes utilizados durante o dia de trabalho, não provocam danos aos trabalhadores e não necessitam ser reposicionados.

A distância máxima entre o trabalhador e a máquina que o mesmo opera é de 50 cm, percentil 5%, nesse quesito a marcenaria atendeu o recomendado, com folga de 20 cm, já que na coladeira de borda a distância horizontal do operador ao início da alavanca é de 30 cm.

As variáveis, comprimento do braço, alcance inferior máximo até a extremidade do dedo médio e alcance frontal do antebraço até a extremidade do dedo médio apresentaram uma distribuição média entre as variáveis. A variável idade apresentou-se heterogênea. Todas as outras variáveis foram homogêneas. A idade média dos trabalhadores dessa marcenaria é 34,95 anos. A tabela 5 mostra às medidas antropométricas, percentis 5, 50 e 95%, média, desvio padrão, coeficiente de variação, conforme Bussacos (1997).

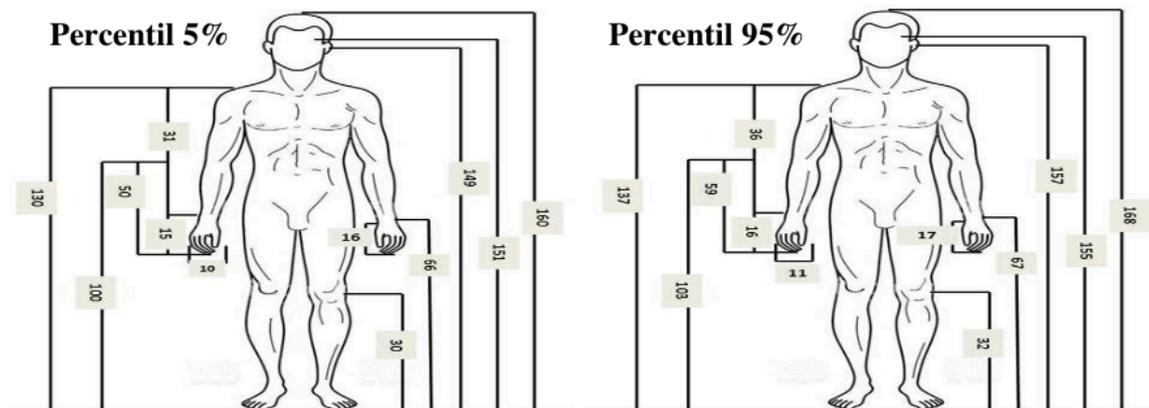


Figura 11 - Medidas antropométricas dos trabalhadores avaliados na marcenaria 3.

Fonte: Autoria própria (2016).

Descrição das variáveis antropométricas realizadas.	Percentil			Média	Desvio	CV (%)
	5%	50%	95%			
1 Estatura.	160	164	168	164,00	5,66	3,45
2 Altura do nível dos olhos .	151	153	155	153,00	2,83	1,85
3 Altura do ouvido.	149	153	157	153,00	5,66	3,70
4 Altura do punho.	66	67	67	66,50	0,71	1,06
5 Altura do joelho.	30	31	32	31,00	1,41	4,56
6 Altura do tórax.	121	123	125	123,00	2,83	2,30
7 Altura do mento.	138	141	143	140,50	3,54	2,52
8 Altura do ombro.	130	134	137	133,50	4,95	3,71
9 Altura do cotovelo.	100	102	103	101,50	2,12	2,09
10 Comprimento do braço.	31	34	36	33,50	3,54	10,55
11 Alcance inferior máximo até a extremidade do dedo médio.	45	49	52	48,50	4,95	10,21
12 Alcance frontal da mão em pega empunhadura.	43	44	44	43,50	0,71	1,63
13 Alcance frontal do antebraço até a extremidade do dedo médio.	50	54	59	54,00	7,07	13,09
14 Largura da mão no polegar.	16	17	17	16,50	0,71	4,29
15 Largura da mão fechada.	10	11	11	10,50	0,71	6,73
16 Idade.	26,85	34,50	42,15	34,50	12,02	34,84
17 Comprimento da mão até a extremidade do dedo médio.	15	16	16	15,50	0,71	4,56

Tabela 5 - Medidas antropométricas dos trabalhadores da marcenaria 3.

Para dimensionar corretamente máquinas que empreguem serras utiliza-se o alcance frontal da mão em pega empunhadura e do alcance frontal do antebraço até a extremidade do dedo médio, portanto emprega-se o percentil de 5%, correspondendo a 43 cm e 50 cm a área ótima para realizar essa atividade.

## 4 | CONCLUSÕES

A utilização da antropometria dos trabalhadores das marcenarias é muito importante para adequar o posto de trabalho para os trabalhadores, de modo que as atividades sejam executadas de forma confortável e segura.

Entre as marcenarias analisadas apenas a altura das bancadas da marcenaria 3 está conforme o recomendado para as medidas dos trabalhadores, a bancada das outras duas marcenarias analisadas encontram-se abaixo do recomendado.

Grande parte das medidas antropométricas das marcenarias analisadas apresentou distribuição homogênea, as exceções foram: na marcenaria 1, as variáveis, altura do punho, altura do joelho, comprimento do braço, alcance inferior máximo até a extremidade do dedo médio, largura da mão no polegar, idade apresentaram uma distribuição média entre as variáveis; na marcenaria 2, as variáveis altura do joelho, altura do tórax, comprimento do braço, largura da mão no polegar, largura da mão fechada, idade e comprimento da mão até a extremidade do dedo médio, que apresentam distribuição média entre as variáveis; na marcenaria 3, as variáveis, comprimento do braço, alcance inferior máximo até a extremidade do dedo médio e alcance frontal do antebraço até a extremidade do dedo médio que apresentaram uma distribuição média entre as variáveis, e a variável idade que mostrou-se heterogênea.

## REFERÊNCIAS

ABRAHÃO, Júlia Issy. Reestruturação produtiva e variabilidade do trabalho: uma abordagem da ergonomia. **Psicologia: teoria e pesquisa**, v. 16, n. 1, p. 49-54, 2000.

BUSSACOS, M. A. **Estatística aplicada à saúde ocupacional**. São Paulo: FUNDACENTRO, 1997.103 p.

GUIMARÃES, Pompeu Paes et al. APLICAÇÕES DE VARIÁVEIS ANTROPOMÉTRICAS EM POSTOS DE TRABALHO EM MARCENARIAS NO SUL DO ESPÍRITO SANTO. **FLORESTA**, v. 46, n. 1, p. 11-20, 2016.

IIDA, I. **Ergonomia: Projeto e produção**. 2. ed. revisada e ampliada. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

MINETTE, L. J. **Análise de fatores operacionais e ergonômicos na operação de corte florestal com motosserra**. 1996. 211 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.

NORMA REGULAMENTADORA – NR 17. Ergonomia. In: **Segurança e Medicina do Trabalho**. 70. ed. São Paulo: Atlas, p. 321 - 334, 2012.

PANERO, J.; ZELNIK, M. **Dimensionamento humano para espaços interiores**. Barcelona: Gustavo Gili, 2002. 320 p.

SILVA, K. R. **Análise de fatores ergonômicos em marcenarias do município de Viçosa – MG**. Viçosa, MG: UFV, 1999. 97 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

SILVA, K. R.; SOUZA, A. P.; MINETTE, L. J.; COSTA, F. F.; FIALHO, P. B. Avaliação antropométrica de trabalhadores em indústrias do polo moveleiro de Ubá, MG. **Revista Árvore**, Viçosa/MG, v. 30, n. 4, p. 613 - 618, 2006.

## COMO A DISSEMINAÇÃO EFICIENTE DAS POLÍTICAS DE TI PODE INFLUENCIAR NA MELHORIA DOS SERVIÇOS PRESTADOS À CIDADE

**Luiz Fernando Rocha Pombo**

Instituto Municipal de Administração Pública –  
IMAP, Curitiba - PR

**Ana Paula Guzela Bertolin**

Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de  
Curitiba – IPPUC, Curitiba - PR

**RESUMO:** O presente artigo apresenta uma proposta de disseminação de uma política de governança e de gestão da Tecnologia da Informação e Comunicação da Prefeitura Municipal de Curitiba, aliada a um planejamento estratégico de comunicação de marketing, que tem por finalidade a otimização dos serviços prestados à população de Curitiba e Região Metropolitana, fundamentada no desenvolvimento e na sensibilização de servidoras e servidores da administração pública municipal, fazendo uso de recursos, tecnologias e ferramentas disponíveis e acessíveis, em ambientes virtuais conhecidos e utilizados nos órgãos do município. A proposta é disseminar a informação de forma eficiente e em uma linguagem de fácil acesso para que todos os servidores tenham conhecimento das políticas e das regras que ela institucionaliza, buscando não somente a melhoria nos serviços oferecidos à população como uma efetiva compreensão sobre as normas praticadas pelo Município.

**PALAVRAS-CHAVE:** Política de governança. Comunicação. Disseminação.

### HOW EFFICIENT DISSEMINATION OF IT POLICIES CAN INFLUENCE IN THE IMPROVEMENT OF SERVICES PROVIDED TO THE CITY

**ABSTRACT:** This article presents a proposition of disseminating both governance policy and Information and Communication Technology management from Curitiba City Hall, together with a strategic marketing communication plan which aims services enhancements for the population from Curitiba and metropolitan area. It is based on the development and awareness of civil servants from municipal public service and makes uses of accessible and available resources, technologies, and tools from known virtual environment which is used in the town government departments. The proposition is to disseminate information in an efficient way and use easy language to make all the civil servants familiar with the institutionalized policies and rules, with the intent to provide not only improvement of public services but also effective understanding of the regulations established by the City Hall.

**KEYWORDS:** Governance policy. Communication. Dissemination.

## 1 | INTRODUÇÃO

A cidade de Curitiba, no ano de 2016, aprovou e regulamentou uma Política de TI para a Administração Municipal, que estabelece as estratégias gerais para o uso, adoção e gestão da Tecnologia de Informação e Comunicação (TIC) aplicável a todos os órgãos da Administração Municipal, sejam da administração direta ou indireta. O documento tem como principais princípios norteadores o cidadão como foco da prestação de serviços municipais e o uso intensivo das TIC como instrumento para aumentar a eficiência da Administração Municipal, melhorando e ampliando os serviços públicos e os espaços de participação da Sociedade.

De acordo com o Art. 15. da referida política, “os documentos integrantes da estrutura devem ser divulgados a todos os servidores, estagiários, aprendizes e prestadores de serviços da Administração Municipal de Curitiba quando de sua admissão, bem como, através dos meios oficiais de divulgação interna da Administração Municipal e, também, publicadas na Intranet, de maneira que seu conteúdo possa ser consultado a qualquer momento”. Portanto é necessária uma efetiva disseminação deste conteúdo para que possa gerar conhecimento em toda a rede municipal, se tornando uma prática após sua publicação.

Divulgar porém, não oferece garantias quanto aos usuários atingidos, ao sucesso dos mecanismos de divulgação e à aplicação efetiva das informações para sua efetiva compreensão, gerando um conhecimento.

VALENTE (2014) sugere que a informação disponível e acessível não significa pessoas com mais conhecimento e, se o conhecimento é produto do processamento e compreensão da informação, é possível incentivar esse processamento? De que forma esse incentivo acontece? Pode acontecer espontaneamente, por iniciativa do próprio indivíduo, ou o auxílio de pessoas mais experientes para estimular e facilitar o processamento da informação se faz necessário?

Mesmo existindo um número significativo de canais de informação à disposição dos órgãos e dos servidores atualmente, não estamos certos quanto à extensão de seu alcance. Qual é o número de servidores que tem acesso à Internet? Quem utiliza as informações disponibilizadas? Com que facilidade e nível de compreensão? Qual é o significado dessas informações para o servidor e seu órgão de lotação? Que aplicação é feita dessas informações?

A Administração Municipal possui um Portal Administrativo, com um significativo número de publicações e normas, como o Plano de Governo, Relatórios de Gestão, Manual de Escrita Oficial, Jornal do Servidor, Manual da Marca da PMC. Verificou-se que a maioria dos servidores desconhece a existência destes documentos sendo que o principal motivo, aparentemente, é falta de interesse.

Segundo a pesquisa Retratos da leitura no Brasil, feita pelo Instituto Pró-livro de São Paulo, a leitura está em 9º lugar na preferência do brasileiro; 44% da população não lê; 30% dos brasileiros nunca comprou um livro; 73% dos entrevistados não lê

porque prefere assistir televisão, usar o *WhatsApp* ou ouvir música; 53% dos brasileiros afirmam não ter tempo para ler; e 23% considera a leitura uma atividade entediante, que exige grande esforço, produz cansaço e toma muito tempo.

“Confiar” no interesse do potencial leitor em buscar a informação e acessá-la, é no mínimo temeroso. É preciso despertar o interesse em conhecer a informação, facilitar o acesso, criar mecanismos para incentivar a leitura, processamento, compreensão e assimilação do conteúdo, permitindo o entendimento e o uso eficaz da informação disponibilizada.

A Política de TI aborda conteúdos como acesso ou restrição de conteúdo na internet, uso dos dados abertos da PMC, provimento de soluções em TI, desenvolvimento, aquisição, instalação e manutenção de equipamentos, softwares e periféricos, termos de referência dentre outros temas relacionados, que são considerados de extrema relevância para a Administração. O bom entendimento das políticas de governança e de gestão de TI pode influenciar na qualidade dos serviços prestados à população de Curitiba e Região Metropolitana.

## 2 | METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

O procedimento metodológico adotado, em conformidade com os objetivos pretendidos, concebeu-se em uma pesquisa de abordagem descritiva e explicativa, por meio de pesquisa bibliográfica e de campo. A investigação de caráter descritivo busca essencialmente a enumeração e a ordenação dos dados, sem o objetivo de comprovar ou refutar hipóteses exploratórias (ALYRIO, 2008). O caráter explicativo pretende identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos. (GIL, 2008).

O objetivo da pesquisa é entender os motivos que levam a informação disponibilizada no Portal Administrativo do Município de Curitiba - PAM não chegar ao conhecimento dos servidores da PMC. Os textos, trabalhos e autores pesquisados e referenciados neste artigo apontam, todos, na mesma direção.

A proposta surgiu a partir de diálogos informais com servidores da PMC onde foram verificadas as necessidades de informações acerca do Manual de Escrita Oficial ou do Relatório de Gestão. Fez-se perceber que, de modo geral, os servidores da PMC desconhecem que estes e outros documentos estão disponíveis no PAM, verificando-se então, a necessidade de comunicar a existência das políticas de governança em TI da PMC, documento recém publicado.

Foi realizada uma pesquisa informal, verificando-se o total desconhecimento sobre a existência de tal documentação. Alguns entrevistados responderam que sabiam da existência das regras, mas não sabiam quais eram, embora tivessem a consciência de que deveriam conhecê-las. Outros responderam que, quando tinham dúvidas, recorriam ao gestor de TI do seu órgão. Alguns servidores também responderam que desconheciam a existência do documento e que o mesmo deveria interessar somente

aos profissionais da área de TI.

A partir desta constatação foram coletados dados sobre políticas de governança em TI, estatísticas sobre o desempenho do leitor brasileiro, níveis de compreensão e absorção dos conteúdos lidos, a importância da disseminação do conhecimento dentro das empresas, a disseminação de conhecimento em órgãos governamentais, cultura informacional e comportamento informacional, projetos de plano de comunicação e marketing, gerência de projetos e gestão de TI para compor a ideia desenvolvida neste trabalho.

### 3 | REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

O estudo de LARA e CONTI (2003) sobre a disseminação da informação e usuários, comenta que as tecnologias de informação e comunicação disponíveis permitem intensificar o universo de disseminação das informações governamentais, mas julga prudente verificar em que proporção a transmissão de informação acontece efetivamente, de que forma ela atinge verdadeiramente a sociedade e se atinge de fato à população.

O estudo afirma ainda que não obstante a afirmação de que existe, atualmente, uma generosa quantidade de canais de comunicação à disposição das instituições e do público, não existe certeza sobre o alcance da informação compartilhada e disponibilizada. Não se sabe dizer quem utiliza as informações, com qual grau de facilidade, qual o nível de compreensão, o que essas informações significam para o público ou como essas informações são aplicadas por quem faz uso delas.

O estudo também sugere que é imprescindível questionar tais fenômenos para que se possa aperfeiçoar a extensão das realizações concretas de disseminação e que muitos são válidos até mesmo em situações em que métodos tradicionais de disseminação são utilizados. Isso tudo porque, segundo os autores, não se pode compreender informação por um único conceito, pois seu entendimento é ambíguo. A concepção de seu significado difere conforme os aspectos selecionados.

Se a informação estiver relacionada à alteração de um estado de conhecimento, podemos entendê-la como “processo”; se entendermos a informação como o que é comunicado, o que diz respeito a algum fato, evento ou tema específico, pode-se defini-la como “conhecimento”; e se damos a ela atributo de objetos, como documentos, dados descritos como informação por serem considerados «informativos», é possível conceituar por «coisa». (BUCKLAND, 1991)

Ainda sobre a ótica dos autores, pode-se dizer que a informação, enfatizando o conhecimento será intangível, uma vez que depende de crença, opinião, concepções e conhecimentos anteriores ou de referências subjetivas e, ainda evidenciando o conhecimento, pode depender da existência de documentos informativos, entre outros recursos, pois nos sistemas de informação, ela, ainda conhecimento, estará

atrelada à sua materialidade, assumindo um estatuto tangível. A soma dos conceitos de informação observados no “conhecimento” (intangível), “coisa” (documentos informativos) e “processo” (sistemas de informação de fluxos formais e informais), ainda que trabalhem em conjunto, não implica necessariamente em retenção da informação ou geração de conhecimento.

Ainda sobre a geração de conhecimento, DAVENPORT e PRUSAK (1998), teóricos que dissertam sobre ecologia da informação, conceito bastante abrangente que elucida o estudo sobre a influência da informação em diferentes sistemas ecológicos, afirmam que se faz necessário mudar a maneira como as pessoas usam a informação e, para tanto, é preciso administrar a cultura e o comportamento informacionais. Para os autores, comportamento informacional é o como os indivíduos encaram a informação. Discorre sobre às atitudes em relação ao que é informado, levando-se em conta a disseminação, busca, acúmulo, recuperação, filtragem e uso. Cultura informacional é o como a instituição se comporta no tangente à informação e determina se os envolvidos valorizam e se compartilham este ativo. Simplificando, enquanto o comportamento envolve atos individuais, a cultura abrange grupos ou organizações.

Para BARRETO (1994), pesquisador titular do MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia e do IBICT - Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia, a informação, quando adequadamente assimilada, produz conhecimento, modifica o estoque mental de informações do indivíduo e traz benefícios ao seu desenvolvimento e ao desenvolvimento da sociedade em que ele vive. BARRETO (1994) qualifica a informação como instrumento modificador da consciência e da sociedade, como dispositivo transmutador do homem e do grupo ao qual pertence, deixando de ser um indicador de organização para ser a organização em si. Para o autor, as questões que se sobrepõem atualmente referem-se a como trabalhar a informação enquanto estruturas significantes, no sentido de direcioná-la ao seu propósito de produzir conhecimento para a sociedade e como organizar, controlar e distribuí-la de forma apropriada, política e socialmente, considerando sua interferência na produção do conhecimento. O pesquisador entende que a produção da informação, definida como estruturas significantes, instrumentaliza-se através de práticas bem definidas e se respalda em um processo de transformação orientado por uma racionalidade técnica que lhe é peculiar e que representa operações relacionadas à reunião, seleção, codificação, redução, classificação e controle de estoques de informação, orientando para a organização e controle de estoques de informação, para uso imediato ou futuro. Considerando que tal conjunto de informações seja um estoque potencial de conhecimento, julga-o imprescindível para que este se realize no contexto de transferência de informação. BARRETO (1994) ainda considera que, por ser estático, este repositório não produz, por si só, qualquer conhecimento, que se torna possível somente a partir de uma ação de comunicação entre a fonte e o receptor.

A abordagem de VALENTE (2014) trata a informação como fatos e dados que são encontrados em publicações impressas, internet e até mesmo em diálogos formais ou

informais, enquanto conceitua o conhecimento como o que cada indivíduo edifica como consequência do processamento, da interpretação e da compreensão da informação, se traduzindo numa interpretação individual da realidade. A partir desta distinção entre informação e conhecimento pode-se observar uma série de desafios, pois o grande volume de informação disponível nesses tempos não implica obrigatoriamente em pessoas com mais conhecimento. O autor afirma que com o auxílio adequado de especialistas é possível atingir graus de excelência cada vez maior no trabalho por meio da informação e, dessa maneira, melhor e maior quantidade de conhecimento. Isso implica em criarmos meios para os cidadãos terem chance de construir conhecimento e, portanto, aumentarmos a demanda por mais e melhor educação.

Além disso, ao observar que o conhecimento é construído através do processamento e compreensão da informação, cabe às organizações encontrar maneiras de estimular esse processamento e promover condições para que ele aconteça, buscando auxílio de sistemas e indivíduos para torná-lo mais acessível, pois tudo indica que a espontaneidade é bastante ineficiente como mecanismo gerador de conhecimento.

A afirmação de VALENTE (2014) se verifica, repetidamente, desde a primeira edição da pesquisa Retratos da Leitura no Brasil, estudo cujo objetivo principal é conhecer o comportamento do leitor e do não leitor, mensurando a intensidade, forma, limitações, motivação, representações e as condições de leitura e de acesso ao livro, impresso e digital, pela população brasileira. A pesquisa, que já está em sua quarta edição, é de autoria do Instituto Pró-Livro - IPL, possui caráter quantitativo e sua abrangência geográfica cobriu todo o território nacional.

A referida pesquisa traz números assombrosos acerca do perfil leitor da população brasileira. 44% dos entrevistados foi considerada não leitor. Na região sul, a estimativa de não leitores é de 50%. Os motivos apontados pela pesquisa elencam falta de tempo, preferência por outras atividades, não gostar de ler, falta de paciência e cansaço, entre outros motivos. 23% dos pesquisados está satisfeito em ser não leitor e não almeja ler mais do que já leu. A pesquisa ainda aponta que em resposta à pergunta “o que você gosta de fazer em seu tempo livre?”, a leitura aparece em 9º lugar, onde 73% prefere assistir televisão, ouvir música, reunir-se com amigos, usar *Facebook*, *Twitter* ou *Instagram* e também usar o *WhatsApp*, que tem a preferência de 43% dos entrevistados. A pesquisa revela também que 30% dos brasileiros nunca comprou um livro, 14% considera a leitura uma atividade entediante, que exige grande esforço, produz cansaço e toma muito tempo e 1% acredita que a leitura não serve para nada. Os estudantes representam 56% dos leitores brasileiros.

A pesquisa considera, acerca da motivação e hábitos de leitura, que o tempo livre dos brasileiros está cada vez mais ocupado por uma vasta gama de atividades, com ênfase para o uso da internet e outras atividades em computadores, *tablets* ou *smartphones*. Tal fenômeno é observado em leitores e não leitores, embora os primeiros ocupem seu tempo livre de forma mais variada que os últimos, e que isso

está associado à escolaridade e ao perfil de renda. Entre as barreiras para a leitura, a falta de tempo é o principal motivo mencionado por não leitores e também por leitores que gostariam de ter lido mais e também se destacam os não leitores que mencionam falta de gosto pela leitura. A cada edição da pesquisa percebe-se um aumento da escolaridade média da população e, em contrapartida, diminui o número dos que afirmam não ter nenhuma dificuldade para ler, enquanto se destacam motivos como falta de paciência e de concentração. Boa parte acredita que o hábito da leitura se restringe ao período escolar, não necessitando continuá-lo após terminar os estudos.

Até este ponto, pressupõe-se que as tecnologias de informação e comunicação ofertadas nos dias atuais possibilitam fortalecer o ambiente informacional, mas sem garantias acerca da abrangência da informação compartilhada e disponibilizada. Entende-se que se faz necessário mudar como as pessoas usam a informação, uma vez que esta, assimilada adequadamente, produz conhecimento; sugere-se que devemos criar meios para oportunizar aos indivíduos a construção de conhecimento, observado que a espontaneidade não se traduz como meio gerador de ativo intangível, e que as pessoas passam mais tempo navegando na internet do que lendo.

Este quadro de dificuldades frente ao dever de criar meios de aprendizagem propicia a disseminação através de educação a distância (EAD), modalidade de ensino em que professores e alunos não precisam estar fisicamente no mesmo ambiente e ao mesmo tempo, para que ocorra a aprendizagem. Segundo a Wikipédia, o modelo de ensino a distância teve início no século XIX, através de cursos por correspondência, mas somente nas últimas décadas passou a compor o elenco de atenções pedagógicas. A EAD surgiu da necessidade de promover a formação profissional e cultural de pessoas impossibilitadas de frequentar cursos presenciais e desenvolveu-se a partir das modernizações disponíveis em cada período da história, influenciando o ambiente educacional e a sociedade. É considerada um recurso que contempla as necessidades de desenvolvimento da autonomia do aluno.

Atualmente, sua característica mais marcante é o uso da tecnologia, pois é através da internet que alunos e professores se comunicam, acessam conteúdos, assistem aulas e efetuam avaliações, onde e quando quiserem. A educação a distância se traduz em poderosa ferramenta de aprendizagem, atingindo grande número de aprendizes, ultrapassando a abrangência do modelo de ensino presencial tradicional.

O emprego desta modalidade de ensino se justifica, frente às dificuldades elencadas e circunstâncias apuradas.

Após elucidar as possíveis causas do fenômeno, voltamos à perspectiva de VALENTE (2014), que sugere a disseminação da informação através de educação a distância como resposta às dificuldades elencadas. O autor esclarece, no entanto, que existem diferentes maneiras de engendrar educação a distância e, decorrente da abordagem empregada, pode-se ou não colaborar para o processo de construção de conhecimento. Discorrendo brevemente sobre as diferenças entre as metodologias, a abordagem conhecida como “*broadcast*” utiliza meios tecnológicos para transmitir

informação aos aprendizes sem interagir com eles; o “estar junto virtual” permite a construção de conhecimento contemplando o acompanhamento e assessoramento constante do aluno, buscando entender o que faz e ser capaz de propor desafios e ajudá-lo a conferir significado ao que está fazendo; a abordagem compreendida como “virtualização da escola tradicional” busca implementar a sala de aula convencional no ambiente virtual de aprendizagem, onde o processo educacional é centrado no professor ou instrutor, que é detentor da informação e a transmite interagindo com o aluno, que pode simplesmente armazená-la ou processá-la, convertendo-a em conhecimento.

É fundamental analisar os prós e contras de cada abordagem e configurar o aprendizado por educação a distância da forma mais eficaz e consonante com os propósitos e recursos da organização.

Deve-se, ainda, aliar a disseminação por educação a distância a um planejamento estratégico de comunicação de *marketing*, tendo por objetivo apresentar o curso de capacitação por ambiente virtual de aprendizagem e, ao mesmo tempo, despertar o interesse dos servidores municipais em conhecer a política de governança em gestão de TI.

LOBASSI (2007) discorre sobre as estratégias com mídias eletrônicas, afirmando que o comunicador deve primar pela simplicidade, clareza, interesse e repetição da mensagem, para obter melhores índices de compreensão do que é comunicado, pois o indivíduo ajusta a mensagem percebida a suas opiniões, crenças e valores, se permitindo acrescentar ou distorcer a informação, somando à mensagem ideias que não estão expressas, fenômeno conhecido por “ampliação”, ou não percebendo conceitos que estão presentes, episódio conhecido por “nivelamento”, dando origem ao que os profissionais de comunicação chamam de “distorção seletiva”. Dá-se o nome de “retenção seletiva” à parcela de todas as informações e coisas que acontecem no dia-a-dia e são preservadas na memória, dependendo da reação positiva ou negativa do indivíduo frente aos argumentos recebidos.

O autor salienta que a comunicação pode produzir mudanças mais efetivas em questões menos comuns e perceptíveis, que não estão no centro do sistema de valores do público-alvo e que seus efeitos são mais eficazes quando a mensagem está alinhada com as opiniões, crenças e disposições deste mesmo público. Ainda sobre a ótica de LOBASSI (2007), pode-se entender que o contexto social e o grupo de pertinência ou referência vão mediar a comunicação e influenciar na aceitação ou descarte da comunicação.

Portanto, para atender ao propósito da disseminação da política de governança e gestão de TI e de dados abertos, embasaremos a proposta na *expertise* do autor, somando as abordagens de promoção de vendas, apresentando incentivos de curto prazo para encorajar a experimentação ou “compra” ou aceitação da ideia ou do produto, à do *marketing* direto, fazendo uso de comunicação direta com o indivíduo (servidor da administração municipal) para obter uma resposta imediata. Os objetivos

de comunicação, verificados nos estágios de resposta do consumidor, ambicionam conscientização, conhecimento, simpatia, preferência, convicção e “compra” ou aceitação da ideia ou do produto.

O planejamento de comunicação de *marketing* é um sistema complexo, cujos principais objetivos são planejar, acompanhar e implementar o processo de comunicação; desenvolver um programa de comunicação eficaz; estabelecer o *mix* de comunicação de *marketing* adequado ao propósito, que neste caso pressupõe o impacto na comunicação; gerenciar e coordenar a comunicação integrada, que abrange mídia eletrônica, mídia impressa e internet.

LOBASSI (2007) também pontua que para a organização gerar uma imagem percebida de seus produtos e serviços, deve integrar seu *mix* de comunicação de forma a obter sinergia em todas as suas ações de comunicações junto aos seus diferentes públicos, internos e externos. Quanto mais complexa a estrutura organizacional, a distribuição geográfica de seus estabelecimentos e o número de departamentos, maior a preocupação com a integração das informações, evitando os desvios provocados pela comunicação pessoal e não pessoal.

Vale ressaltar que, em tese, todo o efetivo de uma organização se comunica com o mercado (neste caso, cidadãos), formadores de opinião, fornecedores, clientes, amigos, família, imprensa, etc. Quanto mais integrada sua comunicação, melhores são os resultados na imagem percebida pelo cliente e qualidade das informações expostas junto aos seus públicos interno e externo.

#### 4 | SOLUÇÃO PROPOSTA

A proposta é desenvolver um planejamento estratégico de comunicação de *marketing*, com o intuito de sensibilizar o servidor sobre a importância de conhecer as políticas de governança e gestão de Tecnologia da Informação, aliado a um plano de disseminação do conteúdo, onde a informação possa circular, ser apresentada, processada, compreendida e assimilada, indo além da ideia de deixar a informação disponível simplesmente. O planejamento estratégico de comunicação de *marketing* teria como embasamento ações de divulgação sobre a publicação e disponibilização das políticas de governança e gestão de TI da Prefeitura de Curitiba e uma campanha de orientação e sensibilização dos servidores, objetivando conscientização sobre a importância de conhecer a informação, tanto para os servidores da administração pública municipal quanto para os munícipes e intencionando despertar o interesse do servidor pelo tema. É necessário tornar a informação atraente para agregar valor à intenção do aprendizado organizacional. Propõem-se uma campanha simples e clara, buscando apresentar a política de TI do município, e despertar o interesse do público alvo (servidores da Prefeitura Municipal de Curitiba), com mensagens breves, chamativas e repetidas periodicamente, intencionando alcançar uma melhor

compreensão da informação. Mesclando as possibilidades de canais de comunicação em mídias impressas e internet, a mensagem chegaria aos servidores através de cartazes fixados nos órgãos municipais, *e-mail marketing*, texto no contracheque, *banners* eletrônicos no PAM - Portal Administrativo do Município, no RH 24 horas - Portal de Recursos Humanos da Prefeitura de Curitiba, e outras mídias disponíveis e acessíveis aos servidores da administração municipal.

O plano de disseminação aconteceria, através de educação a distância (EAD), em um ambiente virtual de aprendizagem do Instituto Municipal de Administração Pública - IMAP, conhecido e utilizado em cursos e capacitações ofertados aos servidores da PMC e à comunidade de Curitiba e Região Metropolitana.

A educação a distância (EAD), segundo VALENTE (2014), é baseada na ideia de tutoriais computacionais ou em livros de instrução programada. Os professores do curso organizam as informações de acordo com seu entendimento sobre a forma mais adequada para assimilação e aprendizado e essa informação é enviada e entregue aos alunos através de recursos da Internet. O conteúdo se apresentaria dividido em módulos de aprendizagem, que contemplariam vídeo aulas, apresentações eletrônicas, exercícios, textos e vídeos complementares. As configurações de educação a distância sugeridas abrangeriam as abordagens “*broadcast*” e “*estar junto virtual*”, pois a existência de acompanhamento periódico por tutoria virtual e presencial pode ser de grande valia no processo de retenção, compreensão e transformação da informação, considerando que a espontaneidade não configura resultados satisfatórios como meio gerador de conhecimento.

## 5 | CONSIDERAÇÕES

Os referidos estudiosos sugerem que disponibilizar a informação e aguardar até que ela seja acessada e compreendida não é de grande valia para os propósitos do plano. A informação adequadamente compreendida produz conhecimento e traz benefícios ao desenvolvimento da sociedade, porém tornar a informação disponível apenas amplia o estoque informacional, mas não produz conhecimento sem a interação entre a fonte e o receptor. Os estudos evidenciam que a espontaneidade do indivíduo se revela ineficiente como meio gerador de conhecimento. A propósito da importância da informação a ser assimilada, faz-se necessário intervir nos processos informacionais para ampliar o número de indivíduos atingidos e, por conseguinte, intensificar a compreensão da mensagem.

A intervenção mais acertada, averiguando os parâmetros observados, seria a capacitação de todo o efetivo do município para a disseminação da informação e o desenvolvimento do conhecimento pretendido.

Considerando a grande quantidade de servidores da Administração Pública Municipal que precisam conhecer a política de governança e de gestão da Tecnologia da Informação e a política de dados abertos do município, considerando a infraestrutura

física disponível, o provável número de instrutores e as dificuldades de conduzir todo este efetivo a uma ação de capacitação presencial, constata-se que a educação a distância se apresenta como solução bastante viável para o problema.

Além das vantagens percebidas em dispensar espaço físico dedicado e configurado, atingir simultaneamente um expressivo número de pessoas que o ambiente físico não comporta, afora a liberdade de horário para acessar os conteúdos, esta modalidade de ensino é um ambiente já conhecido pelos servidores de Curitiba, que já fazem uso de educação a distância em ações de desenvolvimento de competências gerais ou específicas.

Qualquer ação de formação ou capacitação deve ser entendida com a finalidade de renovação. A disseminação para transferência de informação e utilização, ambiciona mais fortemente o processo do que o objeto e intenciona criar familiaridade com as informações, para que o servidor público municipal seja por si próprio o promotor de sua formação e crescimento.

## REFERÊNCIAS

ALYRIO, R.D. **Metodologia Científica**. PPGEN: UFRRJ, 2008. Disponível em: <<https://bit.ly/2GuLP1b>>. Acesso em 25 maio 2016.

BARRETO, A.A. **A questão da informação**. São Paulo em Perspectiva, v.8, n.4, out./dez. 1994. Disponível em: <<https://bit.ly/1wzFJxZ>>. Acesso em 24 abril 2019.

BUCKLAND, M. **Information and information systems**. New York; London: Praeger, 1991. Disponível em: <<https://bit.ly/2IC60xL>>. Acesso em 24 abril 2019.

DAVENPORT, T. H; PRUSAK, L. **Ecologia da informação: por que só a tecnologia não basta para o sucesso na era da informação**. Tradução Bernadette Siqueira Abrão. São Paulo: Futura, 1998. Disponível em: <<http://bit.ly/2ICAUpH>>. Acesso em 24 abril 2019.

FAILLA, Z. **Retratos da leitura no Brasil 3**. São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo: Instituto Pró-Livro, 2012. Disponível em: <<http://bit.ly/2GuMCPH>> Acesso em 24 abril 2019.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. Disponível em: <<http://bit.ly/2Dwvljc>>. Acesso em 24 abril 2019.

Instituto Pró-Livro. **Pesquisa retratos da leitura no Brasil 4ª edição**. São Paulo: Instituto Pró-Livro, 2016. Disponível em: <<http://bit.ly/2XHEPoS>>. Acesso em 24 abril 2019.

LARA, M. L. G.; CONTI, V. L. **Disseminação da informação e usuários**. São Paulo em Perspectiva, vol.17 no.3-4 São Paulo July/Dec. 2003. Disponível em: <<http://bit.ly/2ITXXvs>>. Acesso em 24 abril 2019.

LOBASSI, E. W. **Plano estratégico de comunicação e marketing**. Estratégias com mídia eletrônica. Aula 2, São Paulo. Julho 2007. Disponível em: <<https://bit.ly/2Xz94hy>>. Acesso em 12 maio 2016.

VALENTE, J. A. **Diferentes abordagens de educação a distância**. NIED-UNICAMP & CED-PUC/SP. 2014. Disponível em: <<http://bit.ly/2IFQCAv>>. Acessado em 24 abril 2019.

WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. **Educação a distância**. Flórida: Wikimedia Foundation, 2016.  
Disponível em: <<http://bit.ly/2W2elby>>. Acesso em: 24 abril 2019.

## ESTUDO COMPARATIVO DE DESEMPENHO DE EXECUÇÃO DE ALGORITMOS NO CUDA E NO OPENCL

### Antonio Raian de Lima Mendes

Graduando em Engenharia de Computação,  
Universidade Estadual de Feira de Santana

Feira de Santana – Bahia

### Angelo Amâncio Duarte

Departamento de DETEC, Universidade Estadual  
de Feira de Santana

Feira de Santana – Bahia

### ALGORITHM IN CUDA AND OPENCL

**ABSTRACT:** Parallel computing has come about through the growing demand for more efficient data processing, and with it some modifications have been made to the programming paradigm and processors that have gained more processing units, which allows us to parallelize activities making the process more efficient. This article presents the comparative study of computational performance between two tools that are more present in the market and that help in the elaboration of algorithms of high performance: CUDA and OpenCL. Through tests, we quantitatively analyzed the platform efficiency for the NVIDIA Tesla C2070 board and identified the most effective.

**KEYWORDS:** CUDA, OpenCL, High Performance Computing

**RESUMO:** A computação paralela surgiu mediante a crescente demanda por processamento de dados mais eficaz e com ela algumas modificações foram feitas no paradigma da programação e nos processadores que ganharam mais unidades de processamento, o que nos permite paralelizar atividades tornando o processo mais eficaz. Este artigo apresenta o estudo comparativo de desempenho computacional entre duas ferramentas que estão mais presentes no mercado e que auxiliam na elaboração de algoritmos de alto desempenho: CUDA e OpenCL. Através de testes realizados analisamos quantitativamente a eficiência das plataformas para a placa Tesla C2070 da NVIDIA e identificamos a mais eficaz.

**PALAVRAS-CHAVE:** CUDA, OpenCL, Computação de Alto Desempenho

### 1 | INTRODUÇÃO

A Computação Paralela (CP) originou-se diante da demanda de armazenar dados cada vez maiores e processá-los mais rápido (ROCHA, 2007/2008), nesse sentido os computadores com mais de um núcleo de processamento (*manycore* e *multicore*) foram concebidos para atender essas necessidades. Um exemplo de processadores que se assemelham aos *manycore*, possuindo dezenas de unidades

### COMPARATIVE STUDY OF PERFORMANCE

de processamento, são as Placas Gráficas (GPU) que foram projetadas para auxiliar em cálculos de uso intensivos dos processadores comuns, elas possuem muito mais núcleos de processamentos que permite a execução simultânea de operações idênticas sobre dados diferentes (SIMD) (DE PAULA, 2014).

Para gerenciar a implementação de algoritmos novas plataformas foram criadas e com elas outras tecnologias como *Application Programming Interface* (API) e bibliotecas foram aprimoradas. APIs e bibliotecas são interfaces usadas para acessar algumas funções existentes sem necessariamente saber como o código fonte funciona, a diferença básica é que as primeiras são mantidas por entidades e isso agrega uma confiabilidade maior aos serviços. Atualmente, as plataformas que mais se destacam para computação paralela usando GPU são: *Compute Unified Device Architecture* (CUDA), *Open Computing Language* (OpenCL).

A plataforma CUDA foi criada pela NVIDIA em 2006, com o intuito de otimizar a execução de algoritmos nas placas desenvolvidas por esta empresa, enquanto o OpenCL, desenvolvido pela Khronos, é uma plataforma aberta que comporta a paralelização de aplicações e, também, admite a elaboração de códigos heterogêneos podendo assim aproveitar tanto a CPU quanto a GPU (TSUCHIYAMA, 2010).

Portanto, a pesquisa teve como intuito testar, comparar e identificar, dentre a CUDA e o OpenCL, a plataforma que potencializa a criação de algoritmos de alto desempenho para intensificar resultados em tempo de execução.

## 2 | MÉTODOS

O presente artigo adota a abordagem teórica de Lauro de Paula (DE PAULA, 2014) e a comparação de performance de Karime, Dikson e Hamze (KARIME, 2010) que conclui que o CUDA possui algumas vantagens sobre a OpenCL por conter algumas ferramentas que ajudam na criação de códigos e na alocação e recuperação de dados da GPU. Porém, o CUDA só pode ser utilizado em placas da NVIDIA, enquanto a plataforma da Khronos é genérica e podendo ser empregada em placas de outras fabricantes.

A pesquisa foi dividida em três etapas: A primeira consistiu em encontrar trabalhos já realizados que pudessem nortear nossa pesquisa. A segunda etapa configuramos os computadores com as devidas APIs e realizamos os testes. Finalmente, na terceira etapa usamos os dados para comparar os desempenhos e definir a plataforma mais eficaz.

Na etapa dois configuramos o ambiente para iniciar a fase de testes e nos deparamos com alguns problemas de compatibilidade de hardware. A configuração do ambiente gerou um tutorial que está disponível no site do laboratório ([iacad.uefs.br](http://iacad.uefs.br)).

O procedimento utilizado para determinar a melhor plataforma foi o uso de benchmarks que são softwares que possuem testes computacionais para quantificar

o desempenho de um computador, seja ele de cômputo, gráfico ou de transferência de dados, permitindo a comparação entre dois ou mais computadores ou sistemas computacionais (CANALTECH, 2014). Esses softwares buscam extrair o máximo desempenho do computador, geralmente com operações algébricas usando matrizes com uma quantidade elevada de linhas e colunas, computação gráfica e testes de transferência de dados entre os processadores (CPU e GPU).

O benchmark que escolhemos para automatizar os testes foi o ViennaCL (VIENNA CL, 2017), por possuir diversos testes escritos em linguagem C para CUDA e para OpenCL. Dessa maneira, pudemos comparar a mesma funcionalidade para ambas as plataformas.

O teste que utilizamos foi o `dense_blas` ([http://viennacl.sourceforge.net/doc/dense\\_\\_blas\\_8cpp.html](http://viennacl.sourceforge.net/doc/dense__blas_8cpp.html)), que manipula matrizes densas e esparsas com muitas linhas e colunas. O `dense_blas` utiliza pontos flutuantes (float e double, forma computacional de representar valores reais), em processos aritméticos multiplicando valores, vetores e matrizes, quantificando o cômputo e a taxa de transferência de dados entre as operações. Os principais métodos do `dense_blas` são mostrados na Tabela 1.

Método	Descrição
bench	Esse método é o principal do benchmark, responsável por receber os parâmetros que são usados no métodos seguintes. Os parâmetros são: O tamanho dos vetores e os tamanhos das linhas e colunas das matrizes.
bench – BLAS_1	Esse método faz a cópia de um vetor para outro (COPY), a multiplicação de um vetor por um número (AXPY) e a multiplicação de dois vetores (DOT). Sempre usando o parâmetro BLAS1_N como tamanho dos vetores.
bench – BLAS_2	Usando os parâmetros BLAS2_N e BLAS_2M, cria-se dois vetores X e Y e uma matriz A. Inicialmente multiplica-se o X pela matriz A (GEMV-N) e em seguida multiplica o vetor resultado Y pela matriz transposta de A (GEMV-T).
bench – BLAS_3	Com os parâmetros BLAS3_M, BLAS3_N, BLAS3_K cria-se três matrizes, A, B e C. Em seguida é feita a multiplicação de A por B (GEMM-NN), de A pela transposta de B (GEMM-NT), da transposta de A por B (GEMM-TN) e das transpostas de A e B (GEMM-TT). C é a matriz resultante das multiplicações.

Tabela 1. Principais métodos do `dense_blas`.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os testes foram aplicados na placa da NVIDIA, a Tesla C2070, que possui 6GB de memória, 448 núcleos de processamento e um barramento de 384bits. A execução do `dense_blas` gerou dados que estão expostos em forma de gráficos na figura 3 e 4 para facilitar a análise.

Os prefixos 's' e 'd' referem-se às operações com dados do tipo float ou double, respectivamente. Os dados do gráfico da figura 3 temos os métodos que quantificam a taxa de transferência em giga bytes por segundo:

- COPY que é a cópia dos valores de um vetor para outro;
- AXPY é a multiplicação de um vetor por um escalar somado a outro vetor;
- DOT consiste na taxa para multiplicação de vetores;
- GEMV-N é a quantidade de operações de ponto flutuante na multiplicação de uma matriz por um vetor;
- GEMV-T que é a quantidade de operações de uma matriz transposta por um vetor.
- Na figura 4 temos:
- GEMM-NN que equivale a quantidade operações para realizar uma multiplicação de duas matrizes;
- GEMM-NT e o GEMM-TN que constituem-se na quantia de operações na multiplicação de uma matriz transposta por uma matriz normal;
- GEMM-TT operações na multiplicação de duas matrizes transpostas quantificados em Giga Flops por segundo.
- 

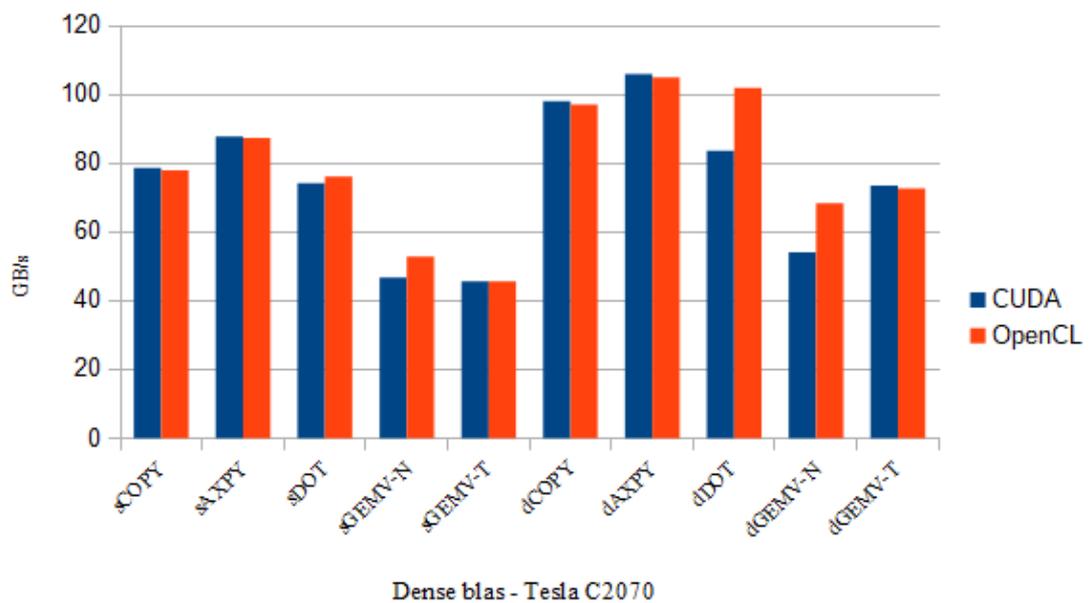


Figura 3: Gráfico dos dados transferidos na execução do dense\_blas na GPU Tesla C2070.

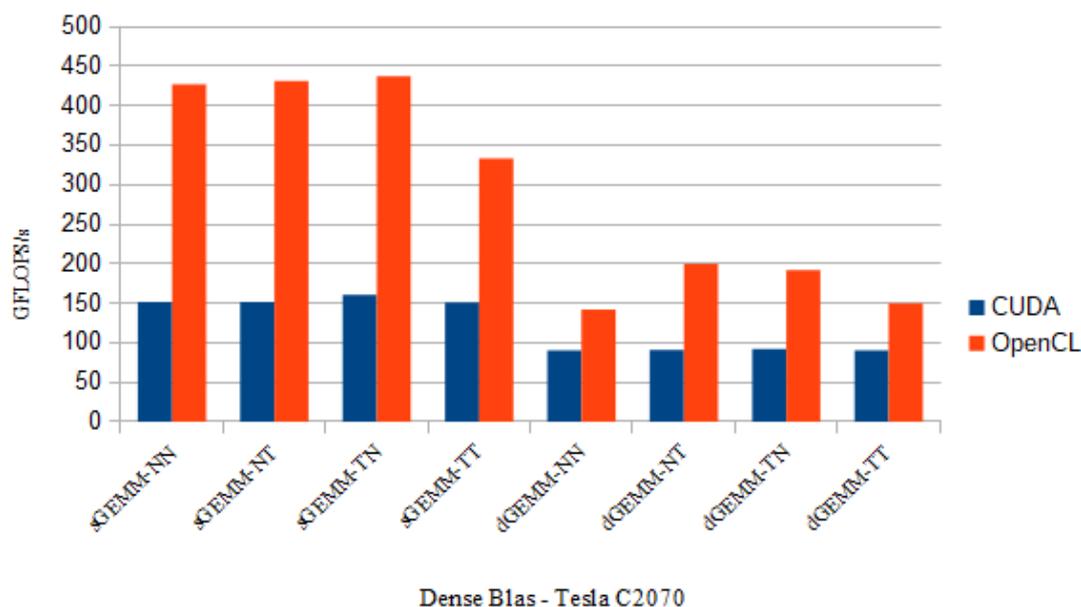


Figura 3: Gráfico dos GFlops na execução do dense\_blas na GPU Tesla C2070.

Ao observar o gráfico da figura 3, constatamos que a quantidade de dados transferidos por segundo é quase a mesma entre as duas plataformas e no gráfico da figura 4, notamos que a diferença de Gflops (quantidade de operações por segundo) do código em OpenCL é consideravelmente maior que o do CUDA.

Com base nos dados coletados na execução do dense\_blas na Tesla, podemos notar que em desempenho a plataforma OpenCL mostrou-se mais eficaz. Portanto, considerando-se o resultado dos testes e a compatibilidade da plataforma com as placas gráficas, podemos afirmar que o OpenCL possui vantagens consideráveis em relação à CUDA.

#### 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao término da análise comparativa entre as plataformas CUDA e a OpenCL, criadas pela NVIDIA e pela Khronos, respectivamente, averiguamos o desempenho de cômputo e da transferência de dados utilizando-se o código dense\_blas (Anexo II) do pacote de benchmarks do ViennaCL (VIENNACL, 2017). Por fim, identificamos que o desempenho das duas plataformas são similares, a OpenCL se sobressaiu apenas nos algoritmos que demandam maior volume de cômputo - como multiplicação de matrizes - e os possíveis motivos para tal resultado são as formas de implementação dos algoritmos e/ou a compatibilidade entre a versão do benchmark e as versões CUDA e OpenCL. De acordo com os dados coletados, nota-se que a OpenCL é a opção mais factível, pois mesmo com menos ferramentas de criação ela atende as necessidades do programador permitindo a criação de códigos para diversas placas gráficas independente do fabricante.

## REFERÊNCIA

CANALTECH. **O que é benchmark?** 2014. Disponível em: <https://canaltech.com.br/produtos/O-que-e-benchmark--26350/> Acesso em: 01 de Mar. De 2018.

DE PAULA, Lauro C. M. 2014. **CUDA vs. OpenCL: uma comparação teórica e tecnológica.** ForScience, v. 2, n. 1, p. 31-46, 2014. Disponível em: [http://www.inf.ufsc.br/~bosco.sobral/ensino/ine5645/Cuda\\_x\\_OpenCL.pdf](http://www.inf.ufsc.br/~bosco.sobral/ensino/ine5645/Cuda_x_OpenCL.pdf) . Acesso em: Março de 2017.

KARIMI, Kamran; DICKSON, Neil G.; HAMZE, Firas. **A performance comparison of CUDA and OpenCL.** *arXiv preprint arXiv:1005.2581*, 2010.

ROCHA, Ricardo. 2007/2008. **Programação Paralela e Distribuída.** Disponível em: <https://www.dcc.fc.up.pt/~ricroc/aulas/0708/ppd/apontamentos/fundamentos.pdf>. Acesso: 17 de Mar. De 2017.

TSUCHIYAMA, R. 2010. **The OpenCL Programming Book.** [S.l.]: Fixstars.

VIENNACL. **About ViennaCL.** 2017. Disponível em: <http://viennacl.sourceforge.net/viennacl-about.html>. Acesso em: 01 de Março de 2018.

## **SOBRE O ORGANIZADOR**

**HENRIQUE AJUZ HOLZMANN** Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná Doutorando em Engenharia e Ciência do Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-433-7

