

Avanços das Pesquisas e Inovações na Engenharia Química

Jéssica Verger Nardeli
(Organizadora)

Avanços das Pesquisas e Inovações na Engenharia Química

Jéssica Verger Nardeli
(Organizadora)

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Karine de Lima

Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

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

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie di Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná

Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Fernando José Guedes da Silva Júnior – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
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. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
 Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
 Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
 Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
 Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
 Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
 Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
 Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
 Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
 Prof. Me. Douglas Santos Mezacas -Universidade Estadual de Goiás
 Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
 Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
 Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
 Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
 Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
 Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
 Prof. Me. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
 Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
 Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
 Profª Ma. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
 Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
 Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
 Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
 Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
 Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
 Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá
 Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
 Prof. Me. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
 Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
 Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
 Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

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

A946 Avanços das pesquisas e inovações na engenharia química 1
[recurso eletrônico] / Organizadora Jéssica Verger Nardeli. –
Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

Formato: PDF
 Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader.
 Modo de acesso: World Wide Web.
 Inclui bibliografia
 ISBN 978-65-86002-53-9
 DOI 10.22533/at.ed.539202003

1. Engenharia química – Pesquisa – Brasil. I. Nardeli, Jéssica Verger.

CDD 660.76

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Atena Editora
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A coleção “Avanços das Pesquisas e Inovações na Engenharia Química volume 1” é uma obra que tem como foco principal a discussão e divulgação científica por meio de trabalhos com diferentes funcionalidades que compõe seus capítulos. O volume abordará de forma categorizada trabalhos, pesquisas que transiram nos vários caminhos da engenharia química de forma mais aplicada tanto para pesquisa como indústria.

O objetivo central foi apresentar de forma categorizada e clara estudos correlacionados a estudo cinético, termodinâmico, físico-químico, caracterização de materiais por meio de várias técnicas (Microscopia eletrônica de varredura, análise de difração de raio-X dentre outras) e abordagens (tamanho de partícula, tratamento estatístico) desenvolvidos em diversas instituições de ensino e pesquisa do país. Em todos esses trabalhos a linha condutora foi o aspecto relacionado à caracterização, aplicação, otimização de procedimentos e metodologias, dentre outras abordagens importantes na área de exatas e engenharia. O avanço das pesquisas e divulgação dos resultados tem sido um fator importante para o desenvolvimento da ciência e estímulo de inovação.

Temas diversos e interessantes são, deste modo, discutidos aqui com a proposta de fundamentar o conhecimento de acadêmicos, mestres e todos aqueles que de alguma forma se interessam pela área de exatas e engenharia química aplicada e educacional. Possuir um material que demonstre evolução de diferentes metodologias, abordagens, otimização de processos, caracterização com técnicas substanciais é muito relevante, assim como abordar temas atuais e de interesse tanto no meio acadêmico como social.

Deste modo a obra “Avanços das Pesquisas e Inovações na Engenharia Química volume 1” apresenta estudos fundamentados nos resultados práticos obtidos pelos diversos professores e acadêmicos que arduamente desenvolveram seus trabalhos que aqui serão apresentados de maneira concisa e didática. Sabemos o quão importante é a divulgação científica, por isso evidenciamos também a estrutura da Atena Editora capaz de oferecer uma plataforma consolidada e confiável para estes pesquisadores explorarem e divulgarem seus resultados.

Jéssica Verger Nardeli

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
RESINA BENZOAZINA: OBTENÇÃO E POTENCIAL DE APLICAÇÃO NO SETOR AEROSPAIAL	
Cirlene Fourquet Bandeira	
Aline Cristina Pereira Trofino	
Sérgio Roberto Montoro	
Michelle Leali Costa	
Edson Cocchieri Botelho	
DOI 10.22533/at.ed.5392020031	
CAPÍTULO 2	13
ANÁLISE MORFOLÓGICA E LIXIVIAÇÃO DA LAMA VERMELHA APÓS TRATAMENTO TÉRMICO	
Bruno Marques Viegas	
Keize Lorena Martins dos Passos	
Edilson Marques Magalhães	
Josiel Lobato Ferreira	
Diego Cardoso Estumano	
José Antônio da Silva Souza	
Emanuel Negrão Macêdo	
DOI 10.22533/at.ed.5392020032	
CAPÍTULO 3	24
ESTUDOS CINÉTICO E TERMODINÂMICO DA UTILIZAÇÃO DE MESOCARPO DE COCO VERDE NA REMOÇÃO DE ÍONS FLUORETO EM SOLUÇÃO	
César Augusto Canciam	
Nehemias Curvelo Pereira	
DOI 10.22533/at.ed.5392020033	
CAPÍTULO 4	36
ESTUDO FÍSICO-QUÍMICO DE LICORES DE CUPUAÇU (<i>THEOBROMA GRANDIFLORUM</i> SCHUM) COMERCIALIZADOS EM BELÉM DO PARÁ	
João Pedro dos Reis Lima	
Allyson Allennon Pinheiro do Rosário	
José Marcos Nobre de Moura Junior	
Ewerton Carvalho de Souza	
Ivan Carlos da Costa Barbosa	
Ewerton Reginaldo dos Santos Neves	
Ronaldo Magno Rocha	
Charles Alberto Brito Negrão	
Regina Celi Sarkis Müller	
Antonio dos Santos Silva	
DOI 10.22533/at.ed.5392020034	
CAPÍTULO 5	45
INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS NA ELEVAÇÃO DO PONTO DE EBULIÇÃO DE SOLUÇÕES DE LEITE/SACAROSE	
Marcio Augusto Ribeiro Sanches	
Rodrigo Rodrigues Evangelista	
Daniele Penteadó Rosa	
Tiago Carregari Polachini	
Javier Telis Romero	
DOI 10.22533/at.ed.5392020035	

CAPÍTULO 6 54

CINÉTICA DE SECAGEM DE *Alpinia zerumbet* E INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NAS PROPRIEDADES DO SEU ÓLEO ESSENCIAL

Paulo Sérgio Santos Júnior
Gustavo Oliveira Everton
Amanda Mara Teles
Bárbara De Souza Silva
Harvey Alexander Villa-Veléz
Adenilde Nascimento Mouchrek
Victor Elias Mouchrek Filho

DOI 10.22533/at.ed.5392020036

CAPÍTULO 7 66

OSCILAÇÕES AMORTECIDAS EM SISTEMAS DE PARTÍCULAS COM MEMÓRIA ACOPLADA

Jair Rodrigues Neyra
Rafael Santos da Costa
José Rodrigues de Souza Chaves Gonçalves
Marcos Vinicius de Souza Araújo
Paulo Gerson da Cruz Ferreira
Vinícius Frantinne Brito Alves
Waldemar Monteiro de Moura
Eliton Lima Rocha
Maria Liduína das Chagas
Thiago Rafael da Silva Moura

DOI 10.22533/at.ed.5392020037

CAPÍTULO 8 79

NANOPARTÍCULAS DE FE E PY COMO CATALISADORES DA LIQUEFAÇÃO DO CARVÃO

Rafael Santos da Costa
Jair Rodrigues Neyra
José Rodrigues de Souza Chaves Gonçalves
Marcos Vinícios de Souza Araújo
Paulo Gerson da Cruz Ferreira
Vinícius Frantinne Brito Alves
Waldemar Monteiro de Moura
Andrew Nunes de Barros Reis
Maria das Graças Dias da Silva
Marcos Lima Cardoso
Thiago Rafael da Silva Moura

DOI 10.22533/at.ed.5392020038

CAPÍTULO 9 90

ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO ÓTIMO DE DECANTADOR HORIZONTAL CENTRÍFUGO PARA SEPARAÇÃO DE SISTEMAS CONTENDO FASE OLEOSA DISPERSA

Alex Vazzoler

DOI 10.22533/at.ed.5392020039

CAPÍTULO 10 99

LIPASE EXTRACELULAR DO FUNGO *METARHIZIUM ANISOPLIAE* PRODUZIDA A PARTIR DE RESÍDUOS AGROINDUSTRAIS

Fabriele de Sousa Ferraz
Laiane Martins Duarte
Isadora Souza Santos Dias
Lina María Grajales

DOI 10.22533/at.ed.53920200310

CAPÍTULO 11 107

SÍNTESE E APLICAÇÃO DE ESFERAS POROSAS DE QUITOSANA NA ADSORÇÃO DE NÍQUEL EM SOLUÇÃO AQUOSA

Flávia Cristina Cardoso Dória
Elaine Cristina Nogueira Lopes de Lima

DOI 10.22533/at.ed.53920200311

CAPÍTULO 12 123

ADSORÇÃO DO COBRE II A PARTIR DA ATIVAÇÃO TÉRMICA DA CASCA DE BURITI (MAURITIA FLEXUOSA)

Larissa Tavares Esquerdo
Brenda Thayssa Figueira Daniel
Yuri Leon dos Santos Silva
Elinaldo Silva Caldas
Alacid do Socorro Siqueira Neves
Reginaldo Sabóia de Paiva
Disterfano Lima Martins Barbosa

DOI 10.22533/at.ed.53920200312

CAPÍTULO 13 131

ISOTERMAS DE SORÇÃO E PROPRIEDADES TERMODINAMICAS DO ABIU (*POUTERIA CAIMITO*)

Emilio Émerson Xavier Guimarães Filho
Ronaldo Maison Martins Costa
Julles Mitoura dos Santos Junior
Nathalia Cristina Ramos Lima
Audirene Amorim Santana

DOI 10.22533/at.ed.53920200313

CAPÍTULO 14 143

CARACTERIZAÇÃO DO OITI *LICANIA TOMENTOSA* (BENTH.) E COMPARAÇÃO DOS PÓS OBTIDOS POR DIFERENTES MÉTODOS DE SECAGEM

Ianê Valente Pires
Tatyane Myllena Souza da Cruz
Gisélia de Sousa Nascimento
Natasha Cunha
Antonio Manoel da Cruz Rodrigues
Heloisa Helena Berredo Reis de Medeiros

DOI 10.22533/at.ed.53920200314

CAPÍTULO 15 153

EFEITO DO TEOR E DO TIPO DE DOPANTE (MG OU MN) NAS PROPRIEDADES DOS CATALISADORES BASEADOS EM ÓXIDO DE FERRO DESTINADOS A WGRS

Larissa Soares Lima
Mariana Santos Rodrigues
Rodrigo Ribeiro de Souza
Maurício de Almeida Pereira
Maria Luiza Andrade da Silva

DOI 10.22533/at.ed.53920200315

CAPÍTULO 16 164

RESÍDUOS DE FERRO E ALUMÍNIO EM COMPÓSITOS POLIMÉRICOS

Gabriel da Cruz Oliveira
Lucas Rezende Almeida

Willian Rayol da Silva
Bruno Henrique Alves Mendes
Brenda Thayssa Figueira Daniel
Deibson Silva da Costa
Reginaldo Sabóia de Paiva

DOI 10.22533/at.ed.53920200316

CAPÍTULO 17 172

DISTRIBUIÇÃO DE TAMANHO DE PARTÍCULA DE BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA DE BAGAÇO DE MANDIOCA (BLBM)

Rodrigo Rodrigues Evangelista
Tiago Carregari Polachini
Juan A. Cárcel
Javier Telis-Romero
Antonio Mulet

DOI 10.22533/at.ed.53920200317

CAPÍTULO 18 184

DISTRIBUIÇÃO DE TAMANHO DE PARTÍCULA DE BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA DE CASCA DE MANDIOCA (BLCM)

Marcio Augusto Ribeiro Sanches
Tiago Carregari Polachini
Juan A. Cárcel
Antonio Mulet
Javier Telis-Romero

DOI 10.22533/at.ed.53920200318

CAPÍTULO 19 196

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA DE BAGAÇO DE MANDIOCA E DE CASCA DE MANDIOCA: INFLUÊNCIA DA DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DE PARTÍCULA

Tiago Carregari Polachini
Maria Júlia Neves Martins
Antonio Mulet
Javier Telis-Romero
Juan A. Cárcel

DOI 10.22533/at.ed.53920200319

CAPÍTULO 20 209

ANÁLISE DA VARIAÇÃO DA GRANULOMETRIA DA LAMA VERMELHA NAS PROPRIEDADES DOS COMPÓSITOS

Eryck Eduardo Simplicio dos Santos
Victor Hugo Mafra Monfredo Ferreira
Brenda Thayssa Figueira Daniel
Bruno Henrique Alves Mendes
Deibson Silva da Costa

DOI 10.22533/at.ed.53920200320

SOBRE A ORGANIZADORA..... 217

ÍNDICE REMISSIVO 218

ISOTERMAS DE SORÇÃO E PROPRIEDADES TERMODINAMICAS DO ABIU (*Pouteria caimito*)

Data de aceite: 11/03/2020

Emilio Émerson Xavier Guimarães Filho

Universidade Federal do Maranhão
São Luís – Maranhão

Ronaldo Maison Martins Costa

Universidade Federal do Maranhão
São Luís – Maranhão

Jules Mitoura dos Santos Junior

Universidade Federal do Maranhão
São Luís – Maranhão

Nathalia Cristina Ramos Lima

Universidade Federal do Maranhão
São Luís – Maranhão

Audirene Amorim Santana

Universidade Federal do Maranhão
São Luís – Maranhão

RESUMO: O objetivo desse estudo é contribuir com a logística de armazenamento do abiu através da determinação de condições ótimas, fornecidas através da análise dos resultados obtidos da modelagem matemática de suas isotermas. Utilizou-se o método gravimétrico estático para determinar o calor isostérico da farinha do abiu (*Pouteria caimito*) a três temperaturas (30, 45 e 60°C) e atividades de água na faixa de 0,000 até 0,769. O modelo de GAB foi o que apresentou melhor ajuste para os dados experimentais das isotermas de

dessorção nas temperaturas de 40°C, 50°C e 60°C ($R^2 > 0,99$ e $RMSE < 2,3 \times 10^{-3}$). Utilizou-se os parâmetros (X_m , C e K) deste modelo para a determinação do calor isostérico de sorção (Q_s), onde obteve-se um decréscimo acentuado de calor até a umidade de 30%, com valores de umidade quase constantes após este ponto. O abiu apresentou forte tendência a perder conteúdo de umidade no seu estado natural para o ambiente quando condicionado a altas temperaturas.

PALAVRAS-CHAVE: Abiu, isotermas de sorção, propriedades termodinâmicas.

SORPTION ISOTHERMS AND THERMODYNAMIC PROPERTIES OF ABIU (*Pouteria caimito*)

ABSTRACT: The purpose of this work is to contribute with storage logistics by calculating the optimal conditions, allowing the analysis of results obtained by mathematical modeling of their isotherms. The static gravimetric method was used to determine the isosteric heat of abiu (*Pouteria caimito*) at three temperatures (30 °C, 45 °C and 60 °C) and water activity ranging from 0.000 to 0.769. The GAB model presented the best fit for the desorption isotherms using experimental data at temperatures of 40 °C, 50 °C and 60 °C ($R^2 > 0.99$ and $RMSE < 2.3 \times 10^{-3}$). The parameters (X_m , C and K) of this model were

used to determine the sorption isosteric heat (Q_s), where an accentuated decrease for the heat of humidity of 30% was obtained, with humidity values almost constant after this mark. Abiu showed a strong tendency to lose moisture content in its natural state to the environment when conditioned at high temperatures.

KEYWORDS: Abiu, sorption isotherms, thermodynamic properties.

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 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.
λ	-	calor latente de vaporização da água pura (KJ/mol).
α	-	parâmetro de correlação equação de segundo grau proveniente do modelo de GAB (adimensional).
β	-	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).
ΔS	-	entropia molar diferencial (kJ/mol K).
ΔG	-	energia livre de Gibbs (kJ/mol).
R	-	constante universal dos gases (kJ/ mol K).
RMSE	-	raiz quadrática do erro médio relativo.
X_e^*	-	dados de umidade de equilíbrio predita pelos modelos.
X_e	-	dados de umidade de equilíbrio experimental.
\bar{X}_e	-	dados de umidade de equilíbrio média.

1 | INTRODUÇÃO

O abiu, *Pouteria caimito* (Ruiz et Pav.) Radlk. Sapotaceae, é uma fruta de origem a Amazônia. No Brasil, é cultivado em quase todo país, com destaque para os estados do Pará e Maranhão. A volta da sua popularidade se deve ao interesse pelos sabores diversificados da fruticultura nacional, suas propriedades nutricionais e uso medicinal. A fruta também é cultivada em outros países como Peru, Colômbia, Bolívia, Equador, Venezuela, Costa Rica, Panamá, Nicarágua e nas Guianas. Pode ser consumido fresco, processado em forma suco, geléia ou compota.

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 (Oliveira, 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; Park; Cornejo; Fabbro, 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 físicas 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 do abiu, 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

Utilizou-se frutos de abieiro (*P. Caimito*) adquiridos em uma propriedade local da cidade de São José de Ribamar, Maranhão, com teor de água inicial médio de 95,2% kg de água/ kg de abiu (b.u.).

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 do abiu 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.

Para obtenção da massa seca, as amostras foram levadas à uma estufa de desidratação à 105°C. A análise do equilíbrio higroscópico abiu 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

Para o ajuste matemático das isotermas de dessorção do abiu, foram utilizados os modelos teóricos de GAB e BET, e os empíricos de Oswin, Henderson e Halsey. Utilizou-se regressão não-linear para ajustar os parâmetros do modelo de forma a aproximar os dados experimentais e preditos. Estes foram estimados pela função *nlinfit* utilizando o processador matemática MATLAB. Os modelos na ordem apresentada e suas respectivas equações seguem abaixo:

$$X_e = X_m \frac{CKa_w}{(1 - Ka_w)[1 + (1 - C)Ka_w]} \quad (2)$$

$$X_e = X_m \frac{Ca_w}{(1 - a_w)[1 + (1 - C)a_w]} \quad (3)$$

$$X_e = a \left(\frac{a_w}{1 - a_w} \right)^b \quad (4)$$

$$X_e = a \left(\frac{-\ln(1 - a_w)}{a} \right)^{1/b} \quad (5)$$

$$X_e = a \left(\frac{-a_w}{\ln a_w} \right)^{1/b} \quad (6)$$

Para validação dos dados obtidos pelos modelos de ajuste, utilizou-se o coeficiente de determinação (R²), a raiz da soma do erro médio (RMSE) e o erro relativo médio (MRE), de modo que a variação entres os dados experimentais e calculados seja mínima. As relações matemáticas para estes parâmetros estatísticos são apresentadas nas Equações 7, 8 e 9.

$$R^2 = \frac{\sum_{k=1}^{\beta} (X_e^* - \bar{X}_e)^2}{\sum_{k=1}^{\beta} (X_e - \bar{X}_e)^2} \quad (7)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (X_e - X_e^*)^2} \quad (8)$$

$$MRE(\%) = \frac{100}{N} \sum_{k=1}^N \left| \frac{X_e - X_e^*}{X_e} \right| \quad (9)$$

2.4 Determinação das propriedades termodinâmicas

A variação da energia livre de Gibbs pode ser interpretada como indicativo da afinidade dos sorventes pela água, indicando o quanto esse fenômeno é espontâneo ($\Delta G < 0$) ou não espontâneo ($\Delta G > 0$). As variações na entropia podem estar associadas às forças de ligação ou repulsão no sistema (Villa-Vélez et al., 2012). A variação da entropia molar diferencial com o calor de líquido de sorção e a energia livre de Gibbs do sistema a uma determinada temperatura, pode ser representada pela equação de Gibbs- Helmholtz:

$$\Delta S = \frac{q_s - \Delta G}{T} \quad (10)$$

Ainda, a energia livre de Gibbs pode ser obtida pela relação abaixo:

$$\Delta G = RT \ln a_w \quad (11)$$

A substituição da Equação 10 na Equação 11 nos permite linearizá-la, de modo a obtermos:

$$\ln a_w = \frac{q_s}{RT} - \frac{\Delta S}{R} \quad (12)$$

A Equação 12 apresenta uma relação linear entre a atividade de água, o calor líquido de sorção e a entropia molar diferencial, então é possível obter estas propriedades termodinâmicas através de uma regressão linear de dados tendo as atividades de água e as temperaturas. O calor de sorção pode ser obtido através da equação de Clausius-Clapeyron utilizando dados obtidos experimentalmente relacionando a umidade de equilíbrio do material com a atividade de água do meio a uma dada temperatura.

$$\frac{\partial(\ln a_w)}{\partial(1/T)} = - \frac{q_s}{R} \quad (13)$$

O calor isotérico é a soma do calor de líquido de sorção com a energia de vaporização da água pura (λ).

$$Q_s = q_s + \lambda \quad (14)$$

O calor isotérico de sorção de um material é considerado como indicativo das forças de atração intermolecular entre os sítios de sorção e as partículas de água. Para determinação do calor isostérico integral de sorção (QST) é necessário buscar a relação do calor latente de vaporização da água pura em função da temperatura. Esta propriedade pode ser associada com a temperatura média de operação através da Equação 14 (Aviara, N. A.; Ajibola, O. O., 2002).

$$\lambda = 2502,2 - 2,39\bar{T} \quad (15)$$

O calor latente de vaporização da água pura corresponde à quantidade de energia necessária para mudar a unidade de massa da fase líquida para a fase vapor a uma determinada temperatura. A Equação 16 pode ser reescrita da seguinte forma:

$$Q_s = q_s + 2502,2 - 2,39\bar{T} \quad (16)$$

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Isotermas de adsorção de água e modelagem matemática

A Tabela 1 apresenta os valores encontrados de umidade de equilíbrio com a atividade de água das soluções diluídas de ácido sulfúrico para construção das isotermas de dessorção do abiu.

Temperaturas (°C)					
40		50		60	
a_w	X_e	a_w	X_e	a_w	X_e
0,7604	0,7283	0,7648	0,5217	0,7691	0,4185
0,5816	0,3580	0,5885	0,2245	0,5986	0,1831
0,3702	0,0981	0,3834	0,0728	0,3956	0,0652
0,1782	0,0754	0,1884	0,0614	0,1986	0,0543
0,0521	0,0638	0,0569	0,0581	0,0621	0,0435

Tabela 1 – Umidades de equilíbrio do abiu.

As isotermas de dessorção foram ajustadas para os modelos descritos nas equações 2, 3, 4, 5 e 6. A Tabela 2 apresenta os parâmetros ajustados pela regressão não-linear, além de apresentar também o coeficiente de determinação (R^2) e a raiz da soma do erro médio. Ajustando as isotermas de dessorção do abiu para os modelos de ajuste, a Tabela 2 apresenta os coeficientes de determinação (R^2), a raiz da soma do erro médio ($RMSE$) e o erro relativo médio (MRE) para cada modelo, calculados a partir das equações 7, 8 e 9, respectivamente.

O modelo de GAB apresentou os melhores ajustes (R^2 e $RMSE$) estatísticos para as três temperaturas estudadas. Portanto, a Tabela 3 apresenta os parâmetros X_m , C e K que se ajustam a este modelo.

Outras frutas com alto conteúdo de umidade já apresentaram resultados satisfatórios ao utilizar o modelo de GAB para ajustar as isotermas de sorção das mesmas. Kiranoudis et al. (1997) sugeriram o modelo de GAB para representar as isotermas de sorção da maçã, pêra, kiwi e banana, frutas que possuem conteúdo de umidade entre 75% e 88%, valores muitos próximos da fruta em questão neste trabalho.

Modelo	Parâmetro estatístico	Temperatura (°C)		
		40	50	60
BET	MRE (%)	24,22	23,46	21,95
	$RMSE$	0,028	0,015	0,006
	R^2 (%)	99,40	99,30	99,40
GAB	MRE (%)	11,91	13,29	14,75
	$RMSE$	0,001	0,001	0,005
	R^2 (%)	99,80	99,80	99,90
Halsey	MRE (%)	17,02	15,88	14,09

	<i>RMSE</i>	0,014	0,004	0,005
	<i>R</i> ² (%)	99,40	99,40	99,60
Henderson	<i>RMSE</i>	26,61	24,97	24,97
	<i>MRE</i> (%)	0,022	0,003	0,003
	<i>R</i> ² (%)	99,40	99,20	99,20
Oswin	<i>RMSE</i>	20,41	23,65	23,65
	<i>MRE</i> (%)	0,002	0,011	0,011
	<i>R</i> ² (%)	99,20	99,30	99,30

Tabela 2 – Parâmetros dos modelos de ajuste de isotermas de sorção.

Parâmetro	Temperatura (°C)		
	40	50	60
X _m	0,2024	0,2011	0,1766
C	2,0251	0,5769	0,5316
K	0,9988	0,9896	0,9696

Tabela 3 – Parâmetros ajustados para o modelo de GAB.

A Figura 1 apresenta os dados experimentais com os calculados para as isotermas de dessorção do abiu.

As isotermas de dessorção para a faixa de temperaturas em estudo evidenciam que o aumento da atividade de água resulta em aumento da umidade de equilíbrio sob todas as temperaturas estudadas. A taxa de dessorção é mais alta no início do processo, devido a facilidade de redução de umidade, resultado já observado por Adam et al (2000) ao estudarem as isotermas de sorção da cebola.

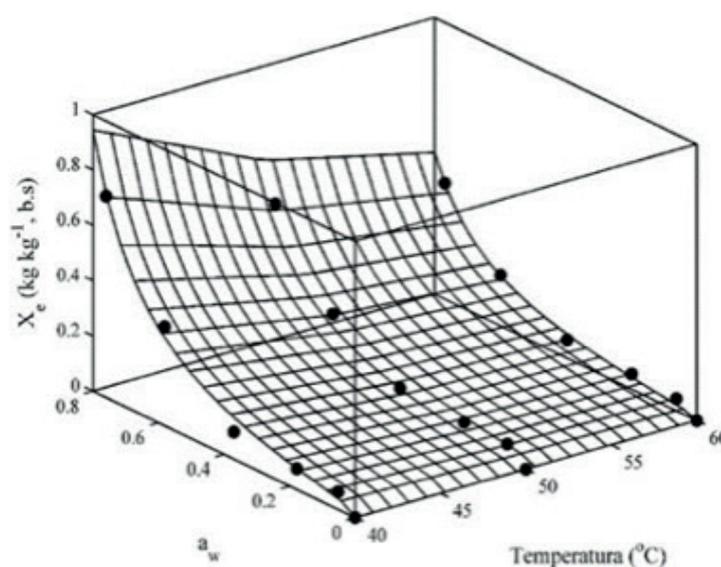


Figura 1 - Comparação entre valores observados e preditos pelo modelo de GAB para as isotermas de dessorção do abiu.

3.2 Propriedades termodinâmicas de sorção da água

Tendo em vista que o modelo de GAB apresenta melhor coeficiente de correlação com os dados experimentais, é necessário expressar a atividade de água em função dos parâmetros de determinação do modelo. O modelo de GAB apresenta certa complexidade quando comparado aos demais modelos de ajuste de isotermas de sorção. A Equação 17 apresenta uma forma alternativa para a descrição do modelo de GAB.

$$(C-1)K^2 a_w^2 + \left[2 - C \left(1 - \frac{X_m}{X_e} \right) \right] K a_w - 1 = 0 \quad (17)$$

Para melhor desenvolvimento algébrico, os parâmetros α e β serão criados para eventuais substituições na Equação 17.

$$\alpha = (C-1)K^2 \quad (18)$$

$$\beta = \left[2 - C \left(1 - \frac{X_m}{X_e} \right) \right] K \quad (19)$$

Substituindo os parâmetros α e β na Equação 17, temos:

$$\alpha a_w^2 + \beta a_w - 1 = 0 \quad (20)$$

A Equação 20 é um polinômio de segundo grau, dessa forma, apresenta duas possíveis soluções para cada condição de umidade de equilíbrio. Para a determinação da atividade de água, será utilizada somente a raiz positiva do polinômio. Esta metodologia foi apresentada por Villa-Vélez et al (2012).

$$a_w = \frac{-\beta + \sqrt{\beta^2 + 4\alpha}}{2\alpha} \quad (21)$$

A Figura 2 apresenta o calor de sorção e entropia molar diferencial de sorção em função da umidade do material. Os resultados mostram que o calor isostérico de sorção apresente aumento exponencial como decréscimo da umidade. Este fenômeno foi observado de forma semelhante quando Akanbi et al. (2006) estudaram as isotermas de dessorção das fatias de tomate, matéria prima com conteúdo de umidade próximo de 97%, característica semelhante ao abiu.

Ainda, a Figura 2 apresenta a entropia molar diferencial em função da umidade de equilíbrio. De forma semelhante ao calor de sorção, a entropia diferencial se apresenta como função inversa da umidade, onde a mesma cresce exponencialmente com o

decréscimo da umidade do produto. Levando em conta que a entropia revela o grau de desordem de um sistema termodinâmico, a entropia molar diferencial do abiu varia com a quantidade de água que o mesmo perde, esta grandeza varia com a pressão de vapor de água na dessorção de água.

A entropia diferencial de um alimento relaciona-se diretamente com a quantidade de sítios ativos disponíveis em um determinado nível energético (Al-Muhtaseb et al., 2004). A medida em que o produto retém água, os sítios ativos do mesmo tendem a saturar-se, sendo ocupados pelas moléculas de água, restando menos sítios ativos livres, por isso as entropias associadas aos sítios ainda livres tornem-se cada vez menores. Para baixos valores de umidade, as moléculas de água perdem movimento rotacional devido a saturação dos sítios ativos, e por esse motivo a entropia diferencial apresenta comportamento decrescente com o aumento da umidade.

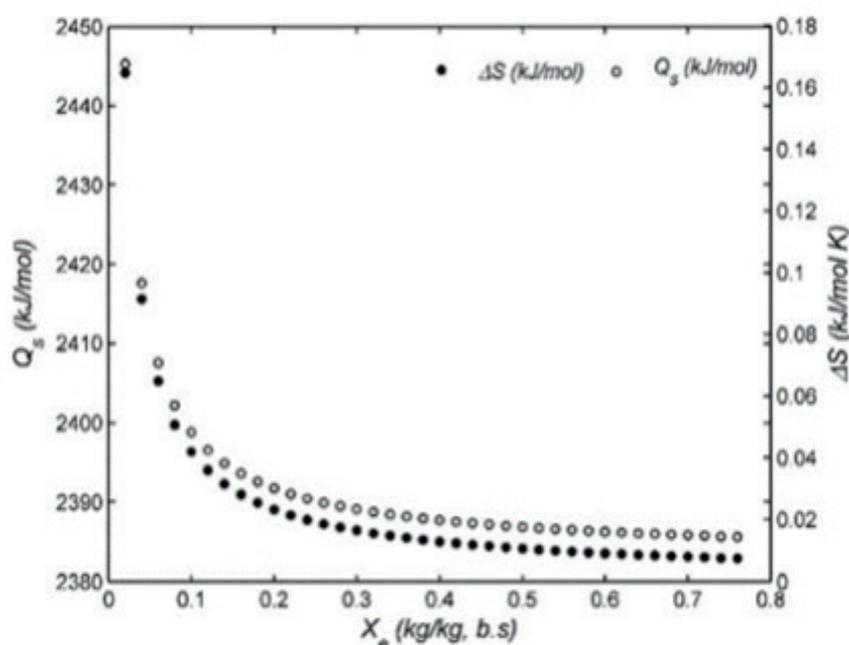


Figura 2 - Calor isostérico de sorção e entropia molar diferencial de sorção do abiu.

4 | CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, o modelo de GAB apresentou melhor ajuste para os dados experimentais das isotermas de dessorção nas temperaturas de 40°C, 50°C e 60°C. Utilizando os parâmetros desse modelo, foi possível determinar o calor isostérico de sorção, entropia diferencial molar de sorção para o processo de dessorção de água.

A justificativa para o decréscimo acentuado no calor isostérico de sorção até a umidade de 30% e comportamento quase constante para umidades abaixo desse valor, é que as ligações de hidrogênio apresentam variação à medida em que água é adsorvida. Os maiores índices de calor isostérico de sorção estão situados à baixas umidades, o que indica maior energia de ligação para a remoção de água do produto,

por este motivo à medida que a umidade do material aumenta, o calor isostérico de sorção tende a diminuir devido à redução da interação das moléculas de água com as demais moléculas do sistema.

Os maiores valores de calor de sorção indicam a maior afinidade entre as moléculas de água e à superfície ativa do alimento. O posterior decréscimo do calor isostérico de sorção em função do aumento da umidade de equilíbrio do produto, decorre do fato de que inicialmente o fenômeno de sorção ocorre nos sítios ativos disponíveis, estes passam a ser ocupados e a sorção tende a ocorrer nos sítios menos ativos, correspondendo aos menores valores de calores isostérico de sorção.

Além disso, verifica-se que o aumento da temperatura provoca redução na umidade de equilíbrio, dessa forma, nota-se que a umidade de equilíbrio para o abiu é diretamente proporcional à atividade de água do meio e inversamente proporcional à temperatura.

Os resultados obtidos ainda indicam que o abiu apresenta forte tendência a perder conteúdo de umidade no seu estado natural para o ambiente quando condicionado a altas temperaturas.

REFERÊNCIAS

ADAM, E.; ESPER, A. MÜHLBAUCR, W.; WOLF, W. E. Effect of temperature on water sorption equilibrium of onion (*Allium cepa* L). **Drying Technology**, v.18, p. 2117-2129, 2000.

AGUERRE, R.; SUAREZ, C. VIOLLAZ, P. Enthalpy-entropy compensation in sorption phenomena: Application to the prediction of the effect of temperature on food isotherms. **Journal of Food Science**, v.51, p. 1547-1549, 1986.

AKANBI, C. T.; ADEYEMI, R. S.; OJO, A. Drying characteristics and sorption isotherms of tomato slices. **Journal of food engineering**, v.73, p.157-163, 2006.

AL-MUHTASEB, A. MCMINN, W.; MAGEE, T. Water sorption isotherms of starch powders: Part 1: Mathematical description of experimental data. **Journal of food engineering**, v.61, p.297-307, 2004.

AVIARA, N. A.; AJIBOLA, O. O. Thermodynamics of moisture sorption in melon seed and cassava. **Journal of food engineering**, v.55, p. 107-113, 2002.

CANUTO, G. A. B.; XAVIER, A. A. O.; NEVES, L. C.; BENASSI, M. T.; Caracterização físico-química de polpas de frutos da Amazônia e sua correlação com a atividade anti-radical livre. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.32, 2010.

DO NASCIMENTO, W. M. O.; MÜLLER, C. H.; ARAÚJO, C. S.; FLORES, B. C. Ensacamento de frutos de abiu visando à proteção contra o ataque da mosca-das-frutas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.33, 2011.

KIRANOUDIS, C. TSAMI, E.; MAROULIS, Z. Microwave vacuum drying kinetics of some fruits. **Drying Technology**, v.15, p.2421-2440, 1997.

MCMINN, W.; AL-MUHTASEB, A.; MAGEE, T. Enthalpy–entropy compensation in sorption phenomena of starch materials. **Food Research International**, v. 38, p. 505-510, 2005.

PARK, K. J. B.; PARK, K. J.; CORNEJO, F. E. P.; DAL FABBRO, I. M. Considerações termodinâmicas das isothermas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.10, p. 83-94, 2008.

VILLA-VÉLEZ, H. A.; VÁQUIRO, H.A.; BON, J.; ROMERO, J.T. Modelling thermodynamic properties of banana waste by analytical derivation of desorption isotherms. **International Journal of Food Engineering**, v. 8, p. 1-19, 2012.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Acidez 36, 39, 40, 41, 128
Adsorção de níquel 107, 117
Análises de difração de raios X 17, 22
Ativação térmica da casca 123

B

Biomassa 10, 33, 34, 100, 129, 172, 173, 174, 175, 176, 178, 180, 181, 182, 184, 185, 186, 187, 189, 190, 192, 194, 196, 198, 199, 200, 201, 205, 206

C

Calor isostérico de sorção 131, 132, 139, 140, 141
Calor latente de vaporização 132, 136
Caracterização físico-química 38, 43, 141
Casca de Buriti 123, 124, 129
Catalisadores baseados em óxido de ferro 153, 156, 159, 160, 161
Cinética de secagem 54, 56, 60, 61, 64, 65, 150
Composição química 14, 16, 29, 33, 47, 49, 50, 196, 200, 205, 206
Compósitos 2, 3, 8, 10, 11, 23, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 205, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216
Compósitos poliméricos 164, 170, 210

D

Decantador horizontal 90, 91, 95
Densidade 6, 10, 36, 37, 39, 40, 59, 62, 82, 90, 95, 97, 145, 172, 175, 196, 198
Determinação dos carboidratos 202

E

Energia livre de Gibbs 27, 31, 33, 132, 135
Entropia diferencial 133, 139, 140
Equação de Gibbs- Helmholtz 135
Esferas porosas 107, 110, 111, 119
Espectrofotômetro 112, 127, 156, 202
Estudo físico-químico 36

F

Forças de atração intermolecular 136

G

Granulometria 164, 179, 190, 200, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215

I

Indústria aeroespacial 1, 2, 3, 5, 6, 9

Isotermas de sorção 131, 133, 134, 137, 138, 139

L

Lama vermelha 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 22, 23, 209, 210, 212, 213, 214, 215, 216

Licores 36, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 44

Licores de cupuaçu 36, 37, 38, 43

Lignocelulósica 172, 173, 174, 175, 176, 178, 180, 181, 182, 184, 185, 187, 189, 190, 192, 194, 196, 198, 199, 200, 206

Liofilizador 143, 144, 146

Lipase extracelular 99

M

Microscopia eletrônica de varredura 13, 15, 17, 22

N

Nanopartículas de ferro 81

O

Óleo essencial 54, 55, 56, 59, 62

P

Partículas com memória acoplada 66

pH 25, 26, 28, 30, 33, 36, 37, 38, 40, 41, 102, 109, 112, 113, 119, 120, 123, 124, 126, 127, 128, 129, 156, 162, 202, 203

Polpa de Oiti 148

Propriedades dos catalisadores 153, 156

Propriedades dos compósitos 209, 215

Propriedades termodinâmicas 131, 133, 135, 136, 139

Q

Quimiometria 37

Quitosana na adsorção de níquel 107

R

Refractance Window 143, 144, 145, 149, 151

Resíduos de ferro 164

Resina benzoxazina 1, 4, 5, 6, 9, 10, 11

Resinas fenólicas 1, 2, 3, 5, 9

T

Tamanho de partículas 175, 198, 200

Teor de lignina insolúvel 201

Tipo de dopante 153, 160

Tratamento térmico 13, 16, 17, 21, 22

Tratamento térmico-hidrometalúrgico 13, 16, 22

U

Utilização de mesocarpo de coco verde 24

V

Viscosidade 36, 37, 39, 40, 41, 95, 97, 205

 **Atena**
Editora

2 0 2 0