

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – *CAMPUS* RIO VERDE
PRÓ REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIAS
AGRÁRIAS-AGRONOMIA

SANGRA D'ÁGUA (*Cotron urucurana* Baill.): cinética de secagem; separação, identificação, quantificação de compostos fenólicos e bioatividades em função da temperatura de secagem

Autor: Jáliston Júlio Lopes Alves

Rio Verde – GO

Fevereiro – 2018

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – *CAMPUS* RIO VERDE
PRÓ REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIAS
AGRÁRIAS-AGRONOMIA

SANGRA D'ÁGUA (*Cotron urucurana* Baill.): cinética de secagem; separação, identificação, quantificação de compostos fenólicos em função da temperatura de secagem

Autor: Jáliston Júlio Lopes Alves

Orientador: Osvaldo Resende

Coorientadora: Ana Carolina Ribeiro Aguiar

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS-AGRONOMIA, ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – *Campus* Rio Verde – Área de Concentração Produção Vegetal Sustentável no Cerrado.

Rio Verde – GO

Fevereiro – 2018

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal
Goiano

Alves, Jáliston Júlio Lopes Alves
SANGRA D'ÁGUA (Cotron urucurana Baill.): cinética de secagem; separação, identificação, quantificação de compostos fenólicos e bioatividades em função da temperatura de secagem. / Jáliston Júlio Lopes Alves Alves; orientador Osvaldo Resende; co-orientadora Ana Carolina Ribeiro Aguiar. -- Rio Verde, 2018.
112 p.

Dissertação (Graduação em Mestrado em Ciências Agrárias) -- Instituto Federal Goiano, Câmpus Rio Verde, 2018.

1. Modelagem Matemática. 2. Secagem. 3. Podutos Vegetais. 4. Fitorerápico. 5. Bioatividades. I. Resende, Osvaldo, orient. II. Ribeiro Aguiar, Ana Carolina, co-orient. III. Título.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – *CAMPUS* RIO VERDE

PRÓ REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIAS
AGRÁRIAS-AGRONOMIA

SANGRA D'ÁGUA (*Cotron urucurana* Baill.): cinética de secagem; separação,
identificação, quantificação de compostos fenólicos e bioatividades em função da
temperatura de secagem

Autor: Jáliston Júlio Lopes Alves

Orientador: Osvaldo Resende

Coorientadora: Ana Carolina Ribeiro Aguiar

TITULAÇÃO: Mestre em Ciências Agrárias -Agronomia – Área de Concentração em
Produção Vegetal Sustentável no Cerrado

Aprovado em ____ de fevereiro de 2018.

Prof. Dr. Osvaldo Resende

Presidente da banca

IF Goiano – *Campus* Rio Verde

Prof.^a Dr.^a Ana Carolina Ribeiro Aguiar

Avaliadora Externa

IF Goiano – *Campus* Rio Verde

Prof. Dr. Francisco Araújo Ribeiro Neto

Avaliador Externo

IF Goiano – *Campus* Rio Verde

Prof.^a Dr.^a Cássia Cristina Fernandes Alves

Avaliadora Externa

IF Goiano – *Campus* Rio Verde

“Eleva-te no aperfeiçoamento próprio e caminharás de espírito bafejado pelo concurso daqueles pioneiros da evolução que te precederam na jornada de luz, guiando-te às aspirações para as vitórias da alma.

Examina teus desejos e vigia os próprios pensamentos, porque onde situares o coração aí a vida te aguardará com as asas do bem ou com as algemas do mal.”

Emmanuel

À minha família, que sempre me deu apoio e suporte a cada uma das decisões tomadas ao longo desta jornada, principalmente, à minha mãe, Maria José Lopes de Oliveira, que, mesmo não entendendo os motivos, sempre fornecia seu amor e suporte em todos os momentos de minha vida; apesar de não ter acesso aos estudos, nunca me privou de dar um passo a mais na vida acadêmica, ensinando sempre a honestidade e a humildade em primeiro lugar,

AGRADECIMENTOS

Ao Grande criador do universo, porque sem a permissão dEle não haveria forças para chegar até aqui.

À Direção do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Ceres, pela concessão da licença para capacitação.

À Direção do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde e a todos os professores envolvidos na minha formação.

Ao professor Dr. Osvaldo Resende, pela orientação, ensinamentos e paciência, durante esse período.

À minha coorientadora, professora Dr^a. Ana Carolina Ribeiro Aguiar, pelas horas de trabalho em conjunto, pelas palavras de apoio e pela amizade durante a execução deste projeto. Sempre me socorrendo nos momentos de desespero.

À professora Dr^a. Isabel Cristina Fernandes Rodrigues Ferreira, pelo acolhimento, pela oportunidade de trabalhar em sua equipe, motivando sempre a seguir adiante, obrigado pelos ensinamentos, respeito e confiança.

À professora Dr^a. Líllian Barros, pelos ensinamentos, paciência, atenção e por ser um exemplo de garra e trabalho.

À minha supervisora, Dr^a. Maria Inês Moreira Figueiredo Dias, por toda a dedicação, carinho, cuidado, ensinamentos, por ter se tornado uma grande confidente e amiga.

Ao professor Dr. Francisco Ribeiro de Araújo Neto, por aceitar o desafio de ingressar em uma nova área, contribuindo muito para o enriquecimento deste trabalho.

À Escola Superior Agrária, do Instituto Politécnico de Bragança, pela acolhida.

Ao Centro de Investigação de Montanha (CIMO), por permitir o desenvolvimento das atividades experimentais deste projeto, agradecendo também a toda equipe pelo apoio prestado.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Goiás (Fapeg), pela bolsa de estudo concedida durante o mestrado.

Aos colegas do Laboratório de Química Aplicada e Bioquímica e à equipe do BioChemCore, João, José Pinela, Tânia, Filipa, Custódio, Cristina, Ângela, Carla, Eliana, Taofiq, Marisa, Márcio, Vanessa, Natália, Soraia, Andreia, Ricardo, Miguel Angel, Tiane e Rúbia, meu muito obrigado a todos, pelo apoio e amizade.

Aos amigos conquistados durante o intercâmbio em Portugal, Sabrina, Andrews, Ângela, Luís Palmeira, Flávia Pereira, Maria João, Gerardo, Sara, Briolanja, Carlos, Cândido, Pedro, André, Sônia, Tânia, Sérgio, Ana, Aleksander e Joel Santos que tanto me ajudaram.

À minha querida amiga Patrícia Nunes Gouvêa, bem como à sua família, que, desde o início do mestrado, sempre contribuíram muito, me socorrendo de diversas maneiras.

Aos meus amigos Ana Paula, Seixas, Tainara, Ronaldo, Mário, Brenda, Franklin, Marcel, Paulo Vítor, Isaac, Evandro, Aurélio, Elton, Hanna, Robson e Ana Carla, amigos que Rio Verde uniu em um só coração, que participaram, vivenciaram e compartilharam todo o processo criativo deste trabalho.

Ao meu grande amigo Fagner Ribeiro Machado, por todo apoio, incentivo e principalmente por se fazer presente sempre que eu necessitava.

Aos meus companheiros de trabalho Tiago Gebrim, Bruna, Lívia, Eduardo Dias, Kássia, Nara, Thony, Marcelo Almeida e Rangel Rigo, por permanecerem juntos a mim nesta caminhada.

Ao querido Elyhas Leão, por todo seu carinho e paciência incondicional, principalmente por me dar força para enfrentar muitos momentos difíceis.

Aos colegas do Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Vegetais, que muito contribuíram para o crescimento intelectual.

A todos os professores do Instituto Federal Goiano, que têm colaborado para o forte crescimento e desenvolvimento deste órgão de educação e pesquisa, que tem sido referência em nosso país.

BIOGRAFIA DO AUTOR

JÁLISTON JÚLIO LOPES ALVES, nascido em 26 de outubro de 1990, no município de Itapuranga – Goiás, filho de Maria José Lopes de Oliveira e Josimar Alves da Cruz.

Técnico em Agropecuária pela Escola Agrotécnica Federal de Ceres, turma de 2008.

Bacharel em Agronomia pelo Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia – Campus Ceres, no ano de 2016. Servidor Público Federal, ocupando o cargo de Técnico em Agropecuária do IF Goiano, na cidade de Ceres.

No ano de 2016, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, na área de Pós-Colheita de Produtos Vegetais, em busca da titulação de Mestre, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, defendendo sua dissertação no ano de 2018.

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	14
ÍNDICE DE TABELAS	17
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES	19
RESUMO GERAL	21
GENERAL ABSTRACT	23
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	23
1.0. Sangra d'água	25
1.1. Fundamentos da secagem	26
1.2. Cinética de secagem	27
1.3. Propriedades Termodinâmicas	30
1.5. Análise de Agrupamento dos modelos	34
1.6. Constituintes ativos das plantas.....	37
1.7. Atividade antioxidante.....	38
1.8. Atividades Antimicrobianas	39
1.9. Atividade Antitumoral.....	41
1.10. Degradação de compostos ao longo do processo de secagem.....	42
2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

	12
1. OBJETIVOS	55
1.1. Geral	55
1.2. Específicos.....	55
CAPÍTULO I.....	56
SELEÇÃO MULTIVARIADA DE MODELOS PARA A CINÉTICA DE SECAGEM DAS FOLHAS DE <i>Croton urucurana</i> Baill.	56
1. INTRODUÇÃO	58
2. MATERIAL E MÉTODOS	60
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	64
4. CONCLUSÃO	77
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
CAPÍTULO II.....	82
INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE SECAGEM NA IDENTIFICAÇÃO, QUANTIFICAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS E BIOATIVIDADES EM FOLHAS, GALHOS E PERIDERME DE SANGRA D'ÁGUA (<i>Croton urucurana</i> Baill.)	82
1. INTRODUÇÃO	85
2. MATERIAL E MÉTODOS	86
2.1. Padrões e reagentes.....	86
2.2. Material vegetal e cinética de secagem	86
2.3. Extração hidroetanólica e preparação de decocção	87
2.4. Composição fenólica dos extratos hidroetanólicos e decocções	87
3. Avaliação de bioatividades	88
3.1.1 Atividade Antioxidante.....	88
3.1.2 Atividade Antimicrobiana.....	89
3.1.3 Atividade anti-inflamatória e citotóxica	90
3.1.4 Análise estatística.....	91
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	92

5.	CONCLUSÃO	107
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	108
7.	CONCLUSÃO GERAL.....	112

ÍNDICE DE FIGURAS

INTRODUÇÃO GERAL

Figura 1. Representação da movimentação da água de um produto no período de razão constante.	4
Figura 2. Curva de secagem em condições constantes, com teor de água em função do tempo.	5
Figura 3. Estrutura química dos flavonoides	14

CAPÍTULO I - SELEÇÃO MULTIVARIADA DE MODELOS PARA A CINÉTICA DE SECAGEM DAS FOLHAS DE SANGRA D'ÁGUA (*Croton urucurana* Baill.)

Figura 1. Razão de teor de água das folhas de <i>Croton urucurana</i> B. ao longo do tempo de secagem em quatro condições de temperatura, 40, 50, 60 e 70 °C.	40
Figura 2. Dendrograma para agrupamento dos modelos ajustados aos dados “Observados e Preditos” pelos modelos de secagem para as folhas de <i>Croton urucurana</i> B. secas a temperatura de 40 °C.	41
Figura 3. Dendrograma para agrupamento dos modelos ajustados aos dados “Observados e Preditos” pelos modelos de secagem para as folhas de <i>Croton urucurana</i> B. secas a temperatura de 50 °C.	42
Figura 4. Dendrograma para agrupamento dos modelos ajustados aos dados “Observados e Preditos” pelos modelos de secagem para as folhas de <i>Croton urucurana</i> B. secas a temperatura de 60 °C.	43

Figura 5. Dendrograma para agrupamento dos modelos ajustados aos dados “Observados e Preditos” pelos modelos de secagem para as folhas de <i>Croton urucurana</i> B. secas a temperatura de 70 °C.	44
Figura 6. Razões de teores de água experimentais e estimados pelo modelo de Cavalcanti Mata para a secagem das folhas de <i>Croton urucurana</i> B. nas diversas condições de temperatura.....	48
Figura 7. Coeficiente de difusão efetivo (A) e a representação de Arrhenius para o coeficiente de difusão efetivo (B) obtido para a secagem das folhas de <i>Croton urucurana</i> B.....	50

CAPÍTULO II - INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE SECAGEM NA IDENTIFICAÇÃO, QUANTIFICAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS E BIOATIVIDADES EM FOLHAS, GALHOS E PERIDERME DE SANGRA D'ÁGUA (*Croton urucurana* Baill.)

Figura 1. Perfil cromatográfico a 280 nm (A) e 320 (B) dos extratos de folhas de <i>Croton urucurana</i> B.....	65
Figura 2. Perfil cromatográfico a 280 nm (A) e 320 (B) dos extratos da casca de <i>Croton urucurana</i> B.....	65
Figura 3. Perfil cromatográfico a 280 nm (A) e 320 (B) dos extratos do galhos de <i>Croton urucurana</i> B.....	66
Figura 4. Atividade antifúngica dos extratos hidroetanólico e decocção das folhas, cascas e galhos de <i>Croton urucurana</i> B sob diferentes temperaturas de secagem em relação a antifúngicos comerciais. Concentração Inibitória Mínima (CMI mg mL ⁻¹). A, B e C – Extratos Hidroetanólico de folha, casca e galho, respectivamente. D, E e F – Decocção de folha, casca e galho, respectivamente.	73
Figura 5. Atividade antifúngica dos extratos hidroetanólicos e decocção das folhas, cascas e galhos de <i>Croton urucurana</i> B. sob diferentes temperaturas de secagem em relação a antifúngicos comerciais. Concentração Mínima Fungicida (CMF mg mL ⁻¹). A, B e C – Extratos Hidroetanólicos de folha, casca e galho, respectivamente. D, E e F – Decocção de folha, casca e galho, respectivamente.....	74
Figura 6. Atividade bacteriana dos extratos hidroetanólicos e decocção das folhas, cascas e galhos de <i>Croton urucurana</i> B sob diferentes temperaturas de secagem. Concentração Inibitória Mínima (CMI mg mL ⁻¹). A, B e C – Extratos Hidroetanólicos	

de folha, casca e galho, respectivamente. D, E e F – Decocção de folha, casca e galho, respectivamente. 75

Figura 7. Atividade antibacteriana dos extratos hidroetanólicos e decocção das folhas, cascas e galhos de *Croton urucurana* B sob diferentes temperaturas de secagem. Concentração Mínima Bacteriana (CMB mg mL⁻¹). A, B e C – Extratos Hidroetanólicos de folha, casca e galho, respectivamente. D, E e F – Decocção de folha, casca e galho, respectivamente.....76

ÍNDICE DE TABELAS

CAPÍTULO I - SELEÇÃO MULTIVARIADA DE MODELOS PARA A CINÉTICA DE SECAGEM DAS FOLHAS DE SANGRA D'ÁGUA (*Croton urucurana* Baill.)

Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados para predizer a secagem de produtos vegetais **3****Erro! Indicador não definido.**

Tabela 2. Modelos agrupados conforme métodos da máxima semelhança, tendo como referência os valores observados de RX durante o processo de secagem 45

Tabela 3. Avaliadores para determinação da qualidade de ajustes para o coeficiente de determinação (R^2 , %) e coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), calculados para os nove modelos agrupados conforme métodos da máxima semelhança, tendo como referência os valores observados de RX para representar a cinética de secagem das folhas de *Croton urucurana* B. 46

Tabela 4. Avaliadores para determinação da qualidade de ajustes dos valores para erro médio estimado (SE), *Qui*-quadrado (χ^2), na ordem de 10^{-4} , erro médio relativo (P, %) calculados para os nove modelos agrupados conforme métodos da máxima semelhança, tendo como referência os valores observados de RX para representar a cinética de secagem das folhas de *Croton urucurana* B. 47

Tabela 5. Critérios de informação de AIC e BIC calculados para os nove modelos agrupados conforme métodos da máxima semelhança, tendo como referência os valores observados de RX para representar a cinética de secagem das folhas de *Croton urucurana* B. 47

Tabela 6. Parâmetros do modelo Cavalcanti Mata ajustados para as diferentes condições de secagem das folhas de <i>Croton urucurana</i> B.	49
Tabela 7. Valores de entalpia (H, J mol ⁻¹), entropia (S, J mol ⁻¹ K ⁻¹) e energia livre de Gibbs (G, J mol ⁻¹) para diferentes condições de ar de secagem das folhas de <i>Croton urucurana</i> B.	51

CAPÍTULO II - INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE SECAGEM NA IDENTIFICAÇÃO, QUANTIFICAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS E BIOATIVIDADES EM FOLHAS, GALHOS E PERIDERME DE SANGRA D'ÁGUA (*Croton urucurana* Baill.)

Tabela 1. Tempo de retenção (R_t), comprimentos de onda de absorção máxima na região visível (λ_{max}), dados espectrais de massa e identificação tentativa dos compostos fenólicos presentes em <i>Croton urucurana</i> Baill. folhas (CBF), galhos (CBG) e periderme (CBP).	68
Tabela 2. Quantificação (mg/g dw) de compostos fenólicos presente nas folhas de <i>Croton urucurana</i> Baill.	69
Tabela 3. Quantificação (mg/g dw) de compostos fenólicos presente nos galhos de <i>Croton urucurana</i> Baill.	69
Tabela 4. Quantificação (mg/g dw) de compostos fenólicos presente na casca de <i>Croton urucurana</i> Baill.	69
Tabela 5. Efeito da temperatura de secagem sob as atividades antioxidantes para folhas, galhos e casca de <i>Croton urucurana</i> B., utilizando extrato hidroetanólico (Maceração) e decocção (média±DP).	72
Tabela 6. Avaliação da atividade antitumoral utilizando extrato hidroetanólico (Maceração) e decocção (média±DP) de folhas, galhos e casca de <i>Croton urucurana</i> B. secos a diferentes temperaturas.	78

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

%	Percentual
°C	Graus Celsius
a, b, c, n	Parâmetros dos modelos
AIC	Critério de informação de Akaike
BIC	Critério de informação bayesiano
CBF	<i>Croton</i> Baill Folha
CBG	<i>Croton</i> Baill Galho
CBP	<i>Croton</i> Baill Periderme
CDK	Complexo Célular de Proteínas Ciclina
CMF	Concentração Mínima Fungicida
CMI	Concentração Mínima Inibitória
DAD	Arranjos de Diodo
DNA	Ácido Dexossirribonucleico
DPPH	2,2-difenil-1-picrilhidrazil
E_a	Energia de Ativação
EROS	Espécies Reativas de Oxigênio
ESA	Escola Superior Agrária
G	Energia Livre de Gibbs
G2/M	Ciclo de Divisão Celular Mitose
GI ₅₀	Concentração Inibitória a 50%
GLR	Graus de Liberdade do Modelo
H	Entalpia
HeLa	Células de Câncer do Colo do Útero
HepG2	Células de Câncer de Fígado
HIV	Vírus da imunodeficiência humana
h_p	Constante de Planck
HPLC	Cromatografia Líquida de Alta Eficiência
J	Joule
k, k_o , k_l	Constante de Secagem
k_B	Constante de Boltzmann
L	Espessura da Placa Plana
Ln	Logaritmo neperiano
Log	Logaritmo
MBC	Concentração Mínima Bactericida
MCF-7	Células de Câncer de Mama
Mg	Miligrama
ml	Mililitro
MS	Massa
NCI-H460	Células de Câncer de Pulmão

Nd	Não detectado
Nm	Nanômetro
P	Erro Médio Relativo
p53	Proteína p53
PLP2	Células de Fígado
R	Constante dos Gases
R^2	Coefficiente de Determinação
R^2_{aj}	Coefficiente de Determinação Ajustado
R_c	Tempo de Retenção
RX	Razão do Teor de Água
S	Entropia
SD	Desvio Padrão
SE	Erro Médio Estimado
SNK	Student-Newman-Keuls
T	Tempo
T_{abs}	Temperatura Absoluta
TBS	Meio de Mistura com Caldo
TPC	Total de Compostos Fenólicos
Tr	Traço
UFC	Unidade Formadora de Colônia
UV	Ultravioleta
X	Teor de Água
X_e	Teor de Água de Equilíbrio
X_i	Teor de Água Inicial
Y	Dados Observados
\hat{Y}	Dados Estimados pelo Modelo
λ_{max}	Absorção Máxima
Σ	Somatório
χ^2	<i>Qui</i> -quadrado

RESUMO GERAL

ALVES, JALISTON JULIO LOPES. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde – GO, fevereiro de 2018. **SANGRA D'ÁGUA (*Croton urucurana* Baill.): cinética de secagem; separação, identificação, quantificação de compostos fenólicos e bioatividades em função da temperatura de secagem.**

A espécie *Croton urucurana* Baill, conhecida popularmente como sangra d'água, é usada pelos seus potenciais de cura. Para o melhor processamento de fitoterápico, é essencial o desenvolvimento de técnicas eficientes de secagem e armazenamento, visando à boa conservação de seus compostos. Assim, objetivou-se com este trabalho selecionar, pela análise de agrupamento, modelos para descrever a cinética de secagem das folhas, galhos e periderme (casca) de sangra d'água (*Croton urucurana* B.) em diferentes temperaturas do ar de secagem (40, 50, 60 e 70 °C), bem como promover o ajuste de modelos matemáticos, determinar o coeficiente de difusão e a energia de ativação durante o processo, verificar a influência da temperatura de secagem (40, 50, 60 e 70 °C) no perfil fenólico (obtido por HPLC-DAD-ESI/MS) de folhas, caules e periderme da espécie anteriormente referida; bem como nas propriedades antioxidantes, antimicrobianas e citotóxicas dos seus extratos hidroetanólicos e aquosos (obtidos por decocção). O modelo de Cavalcanti Mata foi selecionado para representar a cinética de secagem das folhas de *Croton urucurana* B. A elevação da temperatura de secagem promove aumento do coeficiente de difusão efetivo com valores de $0,442 \times 10^{-11}$; $0,576 \times 10^{-11}$; $1,47 \times 10^{-11}$ e $2,76 \times 10^{-11}$ m s⁻¹ para as temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C,

respectivamente. A energia de ativação para a difusão líquida durante a secagem das folhas de *Croton urucurana* B. foi de 57,21 kJ mol⁻¹. Com a elevação da temperatura do ar, ocorrem diminuição da entalpia e da entropia e aumento da energia livre de Gibbs. Relativamente aos compostos fenólicos, eles apresentaram diferenças na quantidade de cada um dos compostos em função da temperatura de secagem. Foram identificados flavan-3-óis, flavonas, flavonóis e ácidos fenólicos (o ácido gálico foi somente detectado nos caules). A maior atividade antioxidante foi observada nos extratos hidroetanólicos de folhas e caules secos a 50 °C e de casca seca a 40 °C. Todas as amostras revelaram atividade antifúngica e citotóxica, sendo que os GI₅₀ mais baixos foram também obtidos nos extratos hidroetanólicos em temperaturas de secagem mais baixas (40 e 50°C). Com estes resultados, podemos concluir que as altas temperaturas de secagem influenciam o conteúdo de compostos fenólicos e as propriedades bioativas de Sangra d'água. A adequabilidade das temperaturas de secagem para o processamento de plantas medicinais é de extrema importância para a indústria, de forma a preservar suas propriedades bioativas.

PALAVRAS-CHAVE: Modelagem; Agrupamento; Termodinâmica; Fitoterápico.

GENERAL ABSTRACT

ALVES, JALÍSTON JÚLIO LOPES. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano (Goiano Federal Institute of Education, Science, and Technology), Rio Verde Campus, Goiás State (GO), Brazil, February 2018. **SANGRA D'ÁGUA (*Croton urucurana* Baill.): drying kinetics, separation, identification, quantification of phenolic compounds, and bioactivities due to the drying temperature.**

The *Croton urucurana* Baill. species, known popularly as Sangra d'água, is used due to its healing potential. For the best herbal processing, it is essential to develop efficient drying and storage techniques, aiming at the good conservation of its compounds. Thus, this paper aimed to: (a) select models by cluster analysis to describe the drying kinetics of leaves, branches, and periderm of Sangra d'água (*Croton urucurana* B.) at different drying air temperatures (40, 50, 60, and 70 °C); (b) promote the mathematical models adjustment; (c) determine the diffusion coefficient and the activation energy during the process; (d) verify the influence of the drying temperature (40, 50, 60, and 70 °C) on the phenolic profile (obtained by HPLC-DAD-ESI/MS) of leaves, stems, and periderm of the aforementioned species, as well as the antioxidant, antimicrobial and cytotoxic properties of its hydroethanolic and aqueous extracts (obtained by decoction). The Cavalcanti Mata model was selected to represent the drying kinetics of *Croton urucurana* B. leaves. Increasing the drying temperature promotes an increase of the effective diffusion coefficient with values of 0.442×10^{-11} ; 0.576×10^{-11} ; 1.47×10^{-11} ; and $2.76 \times 10^{-11} \text{ m s}^{-1}$ for temperatures of 40, 50, 60, and 70 °C, respectively. The activation energy for the net diffusion during drying of *Croton urucurana* B. leaves was $57.21 \text{ kJ mol}^{-1}$. Increasing the air temperature, enthalpy and entropy decrease, and Gibbs free energy increases. Regarding the phenolic compounds, they showed differences for each

of the compounds due to the drying temperature. Flavan-3-ols, flavones, flavanols, and phenolic acids were identified (gallic acid was only detected in the stems). The highest antioxidant activity was observed in the hydroethanolic extracts of dry leaves and stems at 50 °C and dry bark at 40 °C. Every sample showed antifungal and cytotoxic activity, and the lowest GI₅₀s were also obtained in hydroethanolic extracts at lower drying temperatures (40 and 50 °C). With these results, it can be concluded that high drying temperatures influences on the phenolic compounds and on the bioactive properties of Sangra d'água. Suitability of drying temperatures for medicinal plants processing is extremely important for industry to preserve its bioactive properties.

KEYWORDS: Modeling. Cluster. Thermodynamics. Phitotherapeutic.

1. INTRODUÇÃO GERAL

1.0. Sangra d'água

Por apresentar grande diversidade florística, o cerrado, que já vinha sendo amplamente explorado pelo conhecimento popular e nos últimos anos, tem apresentado crescente aproveitamento de forma sistematizada pelas associações comunitárias, produzindo medicamentos como pomadas, xaropes, soluções tópicas cicatrizantes e fungicidas, soluções e comprimidos para tratamento de vermes, entre outros (SOUZA; FELFILI, 2006).

A Sangra d'água (*Croton urucurana* Baill.), como é popularmente conhecida em português (CORDEIRO et al., 2016), é uma árvore de porte alto (10-12 m), com seiva vermelho-escura, encontrada em regiões de clima tropical como Paraguai, Uruguai, Argentina e Brasil (RAO et al., 2007). Espécie exclusiva ou predominante de matas ciliares ou de várzeas, sua seiva é bastante utilizada na medicina popular para tratamento de inflamações, diarreia, problemas gastrointestinais e como antinociceptivo (ALVES et al., 2009; MOTA et al., 2015; RAO et al., 2007; SALATINO; SALATINO; NEGRI, 2007).

A presença de princípios ativos na seiva da sangra d'água tem despertado a atenção de inúmeros pesquisadores, que vêm testando sua aplicação medicinal. São encontradas na sua seiva quantidades satisfatórias de alcaloides, flavonoides e diterpenos, tendo ensaios com seus extratos apresentado ação farmacológica para o tratamento de doenças de pele, bronquite, ação bacteriana, antifúngica e também inseticida (PAOLI et al., 1995; ESMERALDINO et al., 2005; LUIZ et al., 2007; RAO et al., 2007; CARVALHO et al., 2014).

Em geral, a escolha de uma determinada planta medicinal ocorre pela abordagem etnofarmacológica, por meio do conhecimento empírico de uma determinada população e do uso medicinal de plantas de uma dada região, envolvendo, assim, diversas áreas do conhecimento. Áreas como antropologia, que relaciona várias comunidades e culturas; botânica, que identifica e classifica tais plantas; e ainda a farmacologia, que pesquisa substâncias responsáveis por benefícios durante o

tratamento de doenças. Ações em conjunto multidisciplinar têm contribuído para a descoberta de novas substâncias bioativas (MACIEL et al., 2002).

1.1. Fundamentos da secagem

A secagem é uma operação unitária, cuja água ou outro líquido contido em um sólido é removido pela adição de calor (CAVALCANTE, 2003; COLESTINO, 2010). Um fluxo de ar, geralmente quente, forçado através de um sistema de ventilação, absorvendo a água contida na superfície do material, provocando um gradiente de umidade e temperatura no seu interior, causa um fluxo de água do centro para a superfície do produto (PETRY, 2007; LOPES et al., 2008). Este processo promove a evaporação da água e, em seguida, a transferência de massa arrastará o vapor formado (PARK et al., 2014).

A água contida nos vegetais pode estar sob a forma de água livre, compondo grupos moleculares fracamente ligados aos solutos ou, então, na forma de água de constituição, ligada à matéria biológica, presente ao redor de solutos e outros compostos não aquosos, apresentando mobilidade restrita em relação à água livre (MARCINKOWSKI, 2006; PETRY, 2007).

No entanto, a distribuição de água no interior dos produtos não é uniforme, gerando um gradiente de concentração, causando o deslocamento da água dos pontos de maior para os de menor concentração (PETRY, 2007). Quando colocado em contato com o ar quente, o produto é aquecido e essa energia é rapidamente distribuída para seu interior, provocando mudança de fase da água, causando diferença de pressão parcial de vapor, acarretando o deslocamento de água do interior do material para a superfície, determinando a transferência de massa para o ar (LIMA et al., 2003; PETRY, 2007; PARK et al., 2014). A pressão de vapor sobre a superfície do produto deve ser maior do que a pressão de vapor d'água no ar para que o processo de secagem aconteça.

A quantidade de calor e de massa transferida no início do processo de secagem é acentuada, reduzindo-se à medida que a temperatura do material se aproxima da temperatura do ar de secagem, quando o gradiente de temperatura se torna pequeno (PETRY, 2007; PARK et al., 2014; RIBEIRO, 2015). O mesmo acontece com o teor de água do material ao longo do tempo, em que o gradiente de umidade e de pressão de vapor entre o produto e o ar também diminui, e o teor de água se aproxima

do teor de água de equilíbrio, ponto em que a transferência de massa se torna praticamente desprezível (MARCINKOWSKI, 2006; PETRY, 2007; DANTAS, 2010).

1.2. Cinética de secagem

A rapidez com que o material perde água é controlada pelas características da matriz do produto e pelas variáveis temperatura, umidade relativa e velocidade do ar de secagem. O teor de umidade pode ser representado por curvas de secagem, possibilitando descrever o comportamento do material ao longo do processo e a predição do tempo de secagem (DANTAS, 2010).

Na grande maioria dos casos, os produtos direcionados para o processo de secagem foram recém-colhidos ou recém-processados, apresentando inicialmente elevados teores de água, com exceção dos grãos, que, para o sucesso na colheita, devem apresentar conteúdo de água consideravelmente baixo. Quando direcionados à operação de secagem, esses produtos que apresentam umidade alta passarão por um processo de adaptação ao ambiente de secagem e apresentarão o comportamento denominado de período de razão constante. No interior dos secadores, sejam eles galpões, estufas ou terreiros, os produtos vegetais apresentarão comportamento semelhante durante o início da secagem, sofrendo a temperatura do sistema variação, elevando a temperatura gradualmente, alterando a temperatura do produto pela transferência de calor entre o ar de secagem e a material recém-inserido no sistema. A pressão de vapor parcial de água do ar também sofre modificações, gerando gradiente de pressão de vapor de água entre o produto a ser seco e ar de secagem, desencadeando o processo de transferência de massa (água) (SILVA et al., 2008).

A hipótese mais aceita para descrever a movimentação da água durante a secagem é a do movimento capilar (gargalo), acontecendo secagem primeiramente no interior dos produtos. A teoria do movimento capilar é dividida em dois períodos - um de razão constante e outro de razão decrescente - que é subdividido em três outros períodos e mostra o comportamento da água durante a secagem (SILVA et al., 2008). No período de razão constante, o produto se encontra completamente úmido, reduzindo de volume à medida que a umidade é retirada, necessitando de pouca energia para o processo (Figura 1a). O primeiro período de razão decrescente descreve a passagem pelo ponto crítico de teor de água em que a água deixa de se comportar como água

livre, apresentando ligação entre as partículas sólidas do produto (Figura 1b). O segundo período de razão decrescente é dado quando a água pode migrar, arrastando-se ao longo das paredes capilares ou evaporando e se condensando, sucessivamente, entre as pontes líquidas. A pressão parcial de vapor decresce e a contração de volume do produto continua, porém em menor intensidade (Figura 1c). Por fim, o terceiro período de razão decrescente é tido quando a secagem ocorre no interior do produto, atingindo o teor de água de equilíbrio quando a quantidade de água evaporada se iguala à quantidade condensada (Figura 1d).

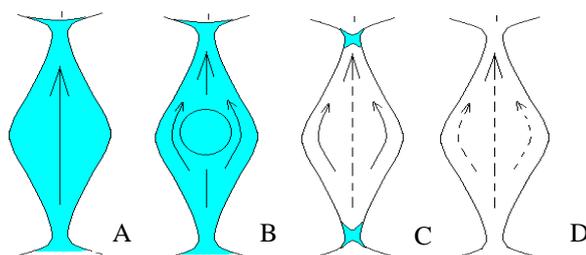


Figura 1. Representação da movimentação da água de um produto no período de razão constante (Silva; Afonso; Donzelles, 2008).

O fenômeno descrito pela teoria do movimento capilar para a remoção da água durante a secagem pode ser mais bem observado quando ilustrado graficamente em curvas de secagem em condições constantes, facilitando a compreensão dos eventos que acontecem em cada período.

O período de taxa constante corresponde ao comportamento de produtos com altos teores de água, sendo que, no início da secagem, a água livre escoar, na fase líquida, sob um gradiente hidráulico, enquanto o material se adapta às condições de secagem. Decorrido certo tempo, o período de razão constante correspondente ao segmento AB, representado na curva de secagem, assume graficamente uma forma não linear (Figura 2). Esse comportamento se mantém durante o segmento BC, em que a superfície exposta do produto está saturada, havendo um filme contínuo de água sobre o sólido, contudo a água age como se não existisse o sólido, e a energia utilizada para a secagem nesse período é praticamente igual à necessária para a evaporação da água em uma superfície livre, onde não há resistência para “sair” do sólido, e a água proveniente do interior do sólido substitui a água retirada da superfície, mantendo a taxa de secagem

constante. Para materiais porosos, esse período é relativamente curto, pois a água superficial não encontra dificuldade de escoamento em razão dos poros do alimento. Em materiais com umidade elevada, o período de razão constante de secagem é mais pronunciado, segmento BC, correspondendo à inclinação da reta (MARCINKOWSKI, 2006; ALVES, 2010; COLESTINO, 2010).

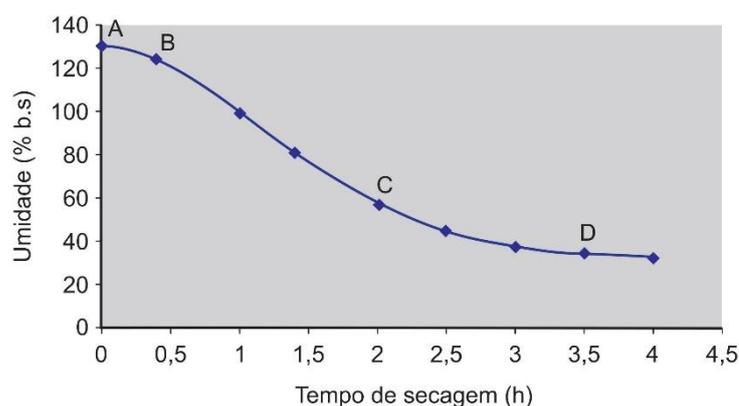


Figura 2. Curva de secagem em condições constantes, com teor de água em função do tempo.

Fonte: Colestino (2010).

O fim do período de taxa constante é determinado pela redução na compensação entre fluxo de calor e transferência de massa, em que a temperatura do sólido aumenta à proporção que a taxa de secagem decresce gradativamente, dado pelo aumento na resistência interna de migração de água do interior até a superfície do produto. A diminuição linear do teor de água ocorre continuamente até atingir o ponto C, chamado de ponto crítico, em que o movimento de líquido do interior para a superfície do sólido é insuficiente para compensar o líquido que está sendo evaporado (ALVES, 2010; COLESTINO, 2010; DANTAS, 2010).

No segmento CD, cada vez menos líquido está na superfície do sólido para evaporar, aproximando-se assintoticamente do teor de água de equilíbrio do material. Já do ponto D em diante, a pressão de vapor sobre o sólido é igual à pressão parcial de vapor do ar, em que a taxa de secagem tende a zero, dentro das condições de temperatura e umidade relativa do ar estabelecidas no processo de secagem, atingindo a umidade de equilíbrio, cessando o processo de secagem. (CAVALCANTE, 2003; MARCINKOWSKI, 2006; COLESTINO, 2010).

1.3. Propriedades Termodinâmicas

O conhecimento das propriedades termodinâmicas nos processos de secagem de produtos agrícolas é importante fonte de informação para projetar equipamentos de secagem, calcular a energia requerida nesse processo, estudar as propriedades da água adsorvida e avaliar a microestrutura assim como os fenômenos físicos que ocorrem na superfície dos produtos vegetais (CORRÊA et al., 2010).

A termodinâmica clássica de sorção foi estabelecida no final da década de 40 e início da década de 50, no entanto, apresentava apenas publicações voltadas para cálculo das propriedades termodinâmicas de espécies adsorvidas sobre materiais inorgânicos. Fazendo uso das teorias existentes, é possível determinar as propriedades termodinâmicas para a água em produtos vegetais, como energia livre necessária para transferir uma molécula de água do estado adsorvido para o estado de vapor, calcular a variação de entalpia, indicando o grau a interação água-alimento, diferenciando a interação entre as próprias moléculas de água, e estabelecer as variação de entropia que ocorrem durante a secagem (VIGANÓ, 2012).

A entalpia representa a entrada de energia no sistema na forma de calor a uma pressão constante, em que uma parte desta energia permanece no sistema, aumentando a sua temperatura, e a outra quantidade é devolvida à vizinhança por trabalho (PALANDI et al., 2010).

Em se tratando de secagem, é de grande importância o conhecimento da energia necessária para gerar o incremento de temperatura para vaporizar uma mesma quantidade de água livre, nas mesmas condições de pressão e temperatura, em virtude das forças de ligação entre a água e a superfície da substância adsorvente (RAMOS, 2013). A diferença de entalpia está associada à mudança de energia que ocorre pela interação entre as moléculas de água e os sólidos presentes no alimento durante a sorção (FASINA et al., 1997; PEDRO, 2009; OLIVEIRA et al., 2015), variando de acordo com o tipo de força exigida na interligação molecular do vapor de água com os sítios de sorção.

Os valores da entalpia podem ser utilizados para projetar secadores, havendo necessidade de fornecimento de calor acima dos valores relativos aos da entalpia,

promovendo, assim, a vaporização da água, secando o material até atingir baixos níveis de teor de água (OLIVEIRA et al., 2014; CORRÊA et al., 2010).

A entropia é uma função de estado que representa a quantidade de energia gerada no interior da amostra de gás ideal pela irreversibilidade, indicando a evolução dos processos, considerando o estado inicial e o diferenciando do estado final, onde é observada maior entropia (PALANDI et al., 2010).

A entropia está relacionada com o número de sítios ativos de sorção para um determinado nível energético inerente ao material (MADAMBA *et al.*, 1996). Em determinada temperatura, a entropia quantifica o trabalho realizado e fornece a medida de energia disponível para trabalho, podendo normalmente estar associada com a ligação ou repulsão das moléculas de água dos componentes dos alimentos no sistema, estabelecendo o grau de desordem existente neste mesmo sistema (RAMOS, 2013; OLIVEIRA et al., 2015).

Portanto, a entropia é a grandeza termodinâmica associada ao grau de desordem, sendo uma função de estado em que seus valores aumentam durante um processo natural em um sistema isolado, usada para obter informações quanto à racionalização da energia durante o processamento do produto (AVIARA; AJIBOLA, 2002) (PEDRO, 2009; CORRÊA et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2014).

A energia livre de Gibbs é um indicativo da afinidade do produto com a água, fornecendo um critério de avaliação em que sua variação é também considerada função de estado, em que é representada a quantidade máxima de energia liberada em um processo em que a temperatura e a pressão são constantes, fornecendo informação sobre a espontaneidade ou não do processo (RAMOS, 2013; OLIVEIRA et al., 2015). A energia livre de Gibbs é influenciada por duas propriedades termodinâmicas, a entalpia e a entropia (equação 1). Quando o processo é espontâneo, a entropia é positiva e a entalpia é negativa, portanto a energia de Gibbs é negativa, e quando a entropia é negativa e a entalpia é positiva, a energia livre de Gibbs é positiva, e o processo não é espontâneo (MARCINKOWSKI, 2006; PEDRO, 2009).

$$\Delta G = \Delta H - T_{abs} \Delta S \quad (1)$$

Além disso, a determinação das propriedades termodinâmicas dos produtos agrícolas é uma importante fonte de informação para calcular a energia requerida nesse processo, uma vez que são identificadas as propriedades da água adsorvida, a

microestrutura dos alimentos e o estudo dos fenômenos físicos que ocorrem na superfície dos alimentos (MORAIS et al., 2013; RODOVALHO, 2014).

1.4. Modelos matemáticos, fundamentação durante o processo de secagem

Os modelos são aqueles utilizados para descrever fenômenos que acontecem no mundo, considerados uma imagem mental simplificada e idealizada, que simulam, com maior ou menor precisão, o comportamento de um sistema, incorporando apenas as características consideradas importantes, selecionadas intuitivamente ou por conveniência matemática (PALANDI et al., 2010).

A análise de dados através do modelo clássico de regressão, também denominado modelo normal linear, é uma das técnicas mais usadas de estimação. Porém, em muitas situações práticas, algumas de suas suposições, como a normalidade e a linearidade nos parâmetros, não são satisfeitas. Este fato alavancou o desenvolvimento de novas técnicas estatísticas para os modelos de regressão, surgindo, então, novas classes de modelos - os modelos de regressão não linear e os modelos lineares generalizados.

Na área de produção vegetal, os modelos de regressão não linear têm sido bastante difundidos e vêm ganhando cada vez mais espaço para investigação do ponto de vista metodológico, pela capacidade de condensar informações de uma série de dados, tomados ao longo do tempo, em um pequeno conjunto de parâmetros biologicamente interpretáveis (SOUSA, 2012). A inferência nos modelos não lineares ocorre por aproximação em Série de Taylor na região próxima às estimativas, e essa aproximação pode ser considerada boa ou ruim, dependendo do modelo a ser estudado, delineamento experimental e conjunto de dados (SOUZA et al., 2010).

Pela sua grande importância, diversos estudos e numerosos modelos têm sido propostos para descrever a taxa de redução de umidade durante a secagem dos sólidos, podendo ser agrupados em três grandes grupos: modelos com base numa análise concentrada (modelos empíricos e semiempíricos); modelos com base numa análise distribuída (modelos difusivos); e modelos com base na termodinâmica dos processos irreversíveis (LIMA; SILVA; LIMA, 2003; SOUSA, 2012a).

O comportamento de saída da água é descrito por curvas de secagem em camada delgada, as quais variam de acordo com a espécie, variedade, condições

ambientais e métodos de preparo, tendo tal comportamento sido descrito por diversos modelos matemáticos (GASPARIN et al., 2017). Os modelos matemáticos dos processos de secagem podem ser classificados como modelos simplificados de balanço, de calor e de massa e modelos com base em equações diferenciais parciais.

Os modelos logarítmicos e exponenciais foram os primeiros a ser desenvolvidos pela simplicidade na obtenção de soluções, seguidos por modelos empíricos e semiempíricos com base em balanços de massa e de calor, modelos um tanto quanto simples com o objetivo de facilitar a obtenção de soluções com recursos computacionais ainda não muito avançados (PETRY, 2007).

A formulação dos modelos matemáticos tradicionalmente utilizados para representar a cinética é desenvolvida pela análise do comportamento de secagem de uma única partícula e, geralmente, considera todos os parâmetros de transporte constantes, possibilitando uma descrição similar da taxa de secagem (CAVALCANTE, 2003).

Os experimentos de secagem, em alguns casos, são feitos com amostras de diferentes lotes ou de um processo contínuo, que, necessariamente, não apresentam teor de água idêntico ao inicial durante todo o experimento, havendo necessidade de utilizar uma variável capaz de indicar a variação de umidade do produto, independentemente da sua umidade inicial. Assim foi definido o teor de água ou a razão do teor de água (RX) (Equação 1) (MARCINKOWSKI, 2006; RAMOS, 2013):

$$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} \quad (1)$$

O numerador da equação representa a quantidade de água livre a retirar em função do tempo, enquanto o denominador se refere à quantidade total de água que pode ser removida ao longo do processo, tendo como base as condições de operação (MARCINKOWSKI, 2006), utilizando, assim, o conceito de umidade adimensional em função do tempo total de secagem (RAMOS, 2013).

O desenvolvimento de modelagens matemáticas que descrevem o processo de secagem tem por objetivo correlacionar dados experimentais da secagem de cada material particular a um modelo, visando a descrever a taxa de perda de água durante o processo de secagem.

Sendo assim, busca-se compreender as condições internas do produto, em que são evidenciados os mecanismos de movimento de água e seus efeitos (ALVES, 2010), uma vez que a combinação de tais fatores gera elevadas taxas de remoção de água (RESENDE; FERREIRA; et al., 2010). Para compreender melhor o processo de secagem, é necessário que se tenha a evaporação de água da superfície do material para o ambiente, para tanto, a água deve ser conduzida do interior do produto até a superfície (ALVES, 2010).

A difusão de água em produtos agrícolas durante a secagem é um processo que pode envolver diferentes mecanismos, como a difusão molecular, a difusão capilar, a difusão de superfície, o fluxo hidrodinâmico, a difusão de vapor e a difusão térmica (GONELI et al., 2009). A teoria da difusão líquida (modelo teórico) assume que não há influência da capilaridade, despreza os efeitos da transferência de energia e massa de um corpo para outro e também considera que os corpos entram em equilíbrio térmico com o ar, instantaneamente (OLIVEIRA et al., 2014). Sendo assim, o coeficiente de difusão descreve a velocidade de saída de água de produto, em que as condições de secagem podem variar com os valores do coeficiente de difusão.

Portanto, o aumento do gradiente de concentração pelo aumento da temperatura e/ou da diminuição da umidade do fluxo de ar geralmente aumenta a rapidez da secagem, pois aumenta a diferença de concentração entre as camadas internas e externas do produto a ser seco. O conjunto desses diferentes mecanismos que governam o movimento de água internamente em um produto e a difusividade de líquido sob efeito de um gradiente de concentração de água são observados na secagem segundo a Lei de Fick (ALVES, 2010).

1.5. Análise de Agrupamento dos modelos

A análise de agrupamento é composta por um conjunto de técnicas estatísticas cujo propósito é classificar os dados, unindo-os pelas semelhanças ou pelas diferenças, de acordo com o contexto (DIAS, 2014). A análise de agrupamento constitui uma metodologia numérica multivariada com o objetivo de dividir os elementos de uma dada amostra ou população em grupos, de forma que os elementos pertencentes a um mesmo grupo sejam similares entre si com as variáveis que neles foram medidas, e os

elementos em grupos diferentes sejam heterogêneos em relação a estas mesmas características (SILVA, 2010b; REIS et al., 2014).

Uma questão importante em análise de agrupamento se refere ao critério a ser utilizado para se decidir até que ponto dois elementos do conjunto amostral podem ser considerados semelhantes. Existem dois tipos de medidas que podem ser consideradas como critérios para a caracterização da semelhança entre os elementos amostrais: as medidas de similaridade e as medidas de dissimilaridade (REIS, 2012).

Essas medidas constituem a base desta metodologia, visto que a análise de agrupamento se inicia com a comparação de grupo de dados em que serão estabelecidas as medidas de similaridade ou dissimilaridade, determinando que quanto maior o valor das medidas de similaridade, mais similares são as observações, enquanto para medidas de dissimilaridade, quanto maior seu valor, menos similares ou mais divergentes são as observações (SILVA, 2010). Para que a análise de agrupamento aconteça, é necessária a definição de uma medida de distância, através da qual são definidos critérios para avaliar a similaridade de dois elementos. Estes critérios são os avaliadores de qualidade, tendo um grande número sido proposto e utilizado em análise de agrupamento, sendo cada uma deles responsável por um determinado tipo de agrupamento (PUIATTI, 2014).

Os métodos hierárquicos mais conhecidos são: o método do vizinho mais próximo, método do vizinho mais distante, método UPGMA, o método do centroide e o método da variância mínima de Ward (DIAS, 2014; PUIATTI, 2014)

Os métodos hierárquicos partem do pressuposto que todos os objetos se repetem em vários níveis, até que seja estabelecido um diagrama bidimensional em forma de árvore, que ilustra as fusões ou partições efetuadas em cada nível sucessivo do processo de agrupamento denominado dendrograma, que podem ser apresentados de maneira horizontal ou vertical (REIS, 2012; SILVA, 2010b).

Uma das abordagens utilizadas para auxiliar na seleção do modelo que melhor represente as situações estudadas são o critério de informação de Akaike (AIC) (AKAIKE, 1974) e critério de informação bayesiano (BIC) (SCHWARZ, 1978).

O critério de informação bayesiano foi desenvolvido por Gideon E. Schwarz, que deu um argumento bayesiano que está intimamente relacionado com o critério de informação de Akaike. Na estatística, o critério de informação bayesiana (BIC) ou o critério de Schwarz (também SBC, SBIC) é um critério para a seleção de modelos entre um conjunto finito de modelos, que se baseia na função de verossimilhança e está

intimamente relacionado ao critério de informação de Akaike (AIC), sendo possível aumentar a probabilidade adicionando parâmetros, mas isso pode resultar em *overfitting*, sendo, para a resolução desse problema, introduzido um termo de penalidade para o número de parâmetros presentes no modelo, fazendo com que a penalidade seja maior em BIC do que em AIC (SCHWARZ, 1978).

Em geral, esses critérios consideram a complexidade do modelo no critério de seleção, penalizando a verossimilhança, fazendo uso do número de parâmetros do modelo, juntamente com o tamanho da amostra, sendo a penalização feita subtraindo do valor da verossimilhança uma determinada quantidade, que depende de quão complexo seja o modelo (quanto mais parâmetros, mais complexo). Os critérios de informação são utilizados nas mais diversas áreas das ciências, sendo os critérios AIC e BIC os mais conhecidos e aplicados, estando implementados em alguns dos softwares estatísticos frequentemente utilizados, sendo de cada modelo obtido um valor, e aquele que apresentar a menor magnitude é considerado o modelo mais parcimonioso (EMILIANO, 2013).

Para a comparação e a indicação de um modelo que mais se adapte ao caso estudado, são utilizadas ferramentas estatísticas que permitem comparar diferentes equações matemáticas capazes de descrever um mesmo fenômeno, porém, para se considerar um determinado modelo como bom, é necessário que questões como equilíbrio entre a qualidade de ajuste e a complexidade sejam atendidas (MAZEROLLE, 2004). Assim sendo, quanto maior o número de parâmetros, mais complexo será o modelo e mais difícil será explicá-lo. Portanto, a utilização de avaliadores de qualidade de ajuste permite selecionar o modelo mais parcimonioso, ou seja, aquele que envolve o mínimo de parâmetros possíveis a serem estimados e que explique bem o comportamento da variável resposta (PUIATTI, 2014).

Comparar os modelos de regressão não linear, quando utilizados para descrever o comportamento um mesmo banco de dados, torna-se uma tarefa difícil, em razão da grande quantidade e das diferenças existentes, fazendo-se necessária a utilização de ferramentas estatísticas para melhor compará-los (SILVEIRA et al., 2009).

O emprego do coeficiente de determinação (R^2) já é uma prática comum entre os trabalhos realizados, no entanto, analisado isoladamente, não constitui bom critério para a seleção de modelos não lineares (MOHAPATRA; RAO, 2005; SILVEIRA et al., 2009; SILVEIRA, 2010; SILVA, 2010). Outros avaliadores da qualidade de ajuste são propostos para a avaliação e seleção do ajuste de modelos não lineares, como o

coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro médio estimado (SE), erro médio relativo (P) e *Qui*-quadrado (χ^2) (CORRÊA et al., 2011; PUIATTI, 2014; COSTA et al., 2015).

Para tanto, a utilização de métodos multivariados de classificação como análise de agrupamento permite juntar modelos cujos resultados são semelhantes, simultaneamente, em relação a todos os avaliadores considerados, possibilitando a indicação de um modelo que esteja dentro dos grupos que apresentaram melhores ajustes para todas as condições estudadas (SILVEIRA et al., 2011; DIAS, 2014).

1.6. Constituintes ativos das plantas

Os compostos fenólicos formam um dos maiores e mais diversos grupos de metabólitos secundários de plantas, isto é, produtos que não apresentam uma função direta nas atividades bioquímicas primárias, responsáveis pelo crescimento, desenvolvimento e reprodução, sendo direcionados para defesa da planta, sinalização e de proteção da radiação UV ou de oxidantes (ALMEIDA, 2007; (STANGARLIN et al., 2011; PINELA, 2012).

Os compostos fenólicos são ubíquos no reino vegetal, podendo ocorrer na forma livre (agliconas) ou conjugada a açúcares (glicosídeos), ser encontrados nos frutos, folhas, flores, sementes, e são amplamente distribuídos no reino vegetal, basicamente nas angiospermas. Tais compostos são divididos em vários grupos, de acordo com o número de anéis benzênicos e os elementos estruturais que se ligam aos anéis, dividindo-se em flavonoides, ácidos fenólicos, taninos, cumarinas e estilbenos (HORST, 2008; PINELA, 2012; SOUZA, 2013; CHAICOUSKI et al., 2014). No entanto, os ácidos fenólicos e flavonoides são os dois grupos principais de compostos fenólicos.

Os flavonoides têm baixo peso molecular e são hidrossolúveis. Nos vegetais, bloqueiam a radiação ultravioleta extrema incidida sobre as folhas, nas flores, atuam como sinais visuais, atraindo agentes polinizadores como pássaros e abelhas (COELHO, 2013), além de terem propriedades antioxidantes e farmacológicas, conferindo características sensoriais aos alimentos (PINELA, 2012; MATOS, 2014).

Os flavonoides representam a maior classe de polifenóis, com cerca de 8.000 compostos descritos. São sintetizados na fase luminosa da fotossíntese, como

catalisadores na cadeia transportadora de elétrons, tendo como estrutura base a flavona, ou seja, são formados por dois anéis aromáticos A e B, unidos por três carbonos que formam um anel heterocíclico do tipo pirano, designado por anel C (Figura 3) (PINELA, 2012; COELHO, 2013). O anel aromático A é derivado da via de etilo/malonato, enquanto o anel B é derivado da fenilalanina, via chiquimato (STANGARLIN et al., 2011; MATOS, 2014).

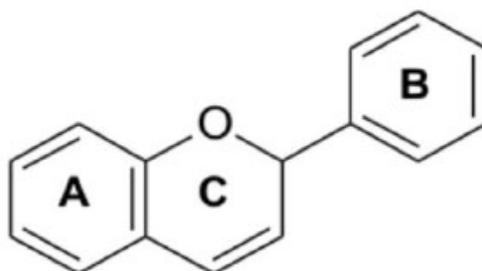


Figura 3. Núcleo básico da estrutura química dos flavonoides.
Fonte: Angelo; Jorge (2007).

Diversos tipos de flavonoides isolados de diferentes plantas têm revelado uma grande diversidade de atividades biológicas com funções bioquímicas e farmacológicas em células humanas, caso do potencial antioxidante dos compostos fenólicos, devido ao fato de capturar radicais livres por meio de mecanismos de transferência de átomos de hidrogênio e de elétrons, agindo tanto na etapa de iniciação como na propagação do processo oxidativo (SOUSA et al., 2007; PINELA, 2012; COELHO, 2013).

1.7. Atividade antioxidante

O envelhecimento caracteriza-se por afetar todos os organismos vivos, sendo considerado um mecanismo heterogêneo, progressivo, deletério e irreversível, que conduz a uma redução adaptativa do organismo, aumentando a vulnerabilidade e o risco de morte, ocasionado pelo acúmulo de diversas alterações danosas que ocorrem em células, como a ação deletéria causada por radicais livres (ENGERS et al., 2011).

Entende-se por radical livre um átomo ou molécula altamente reativa que, em sua última camada eletrônica, tem um número ímpar de elétrons, incluindo as chamadas espécies reativas de oxigênio (EROS), que representam a classe mais

importante de radicais livres gerados pelo organismo, que se acumulam a nível celular, podendo causar a perda de funcionalidade celular (PINELA, 2012; SOUZA, 2013).

As espécies reativas produzidas em pequenas quantidades estão envolvidas em vários processos fisiológicos de sinalização e regulação, sendo, assim, benéficas para as células (ENGERS et al., 2011). Os radicais livres são produzidos durante o funcionamento normal da célula, e sua maior parte é removida pelas defesas antioxidantes naturais do organismo, contribuindo para seu funcionamento normal. Porém, quando ocorre desequilíbrio devido a uma produção excessiva de radicais livres ou a uma deficiência nas defesas antioxidantes da célula, o organismo entra em processo de estresse oxidativo (FERREIRA; ABREU, 2007; PINELA, 2012).

Para combater ou evitar o estresse oxidativo, os antioxidantes naturais ou de síntese desempenham papel crucial no auxílio ao sistema protetor endógeno, podendo funcionar como um tipo de medicina preventiva, protegendo os sistemas biológicos contra o efeito deletério causado pelas reações das espécies reativas ao oxigênio (ENGERS; BEHLING; FRIZZO, 2011; PINELA, 2012; SOUZA, 2013).

1.8. Atividades Antimicrobianas

Diante da escassez de informações e da busca por um número maior de plantas com potencial antimicrobiano, faz-se uso de ferramentas como o ensaio microbiológico *in vitro*, em que extratos ricos em flavonoides, saponinas, lignanas, taninos e alcaloides são utilizados no intuito de comprovar significativas atividades biológicas na intenção de novos compostos com propriedades terapêuticas e farmacológicas, oriundos de produtos de origem vegetal (SOLDERA et al., 2010).

Os fungos são organismos extremamente diversificados e amplamente distribuídos em todos os ecossistemas, totalizando 250.000 espécies, das quais, aproximadamente 200 apresentam potencial patogênico aos mamíferos (GURGEL et al., 2005).

Fungos como *Aspergillus* e *Fusarium* são considerados importantes produtores de micotoxinas, metabólitos tóxicos naturais frequentemente encontrados em alimentos. As aflatoxinas produzidas por espécies do gênero *Aspergillus* são altamente tóxicas e carcinogênicas para homens e animais, causando intoxicações e problemas

crônicos, que afetam várias funções do organismo, tais como alterações hepáticas, renais, circulatórias, no sistema nervoso e no trato digestivo (SOUZA et al., 2012).

A preocupação com a segurança alimentar vem norteando a busca por conservantes naturais na forma nativa ou extraídos de suas fontes e aplicados a outros ou aos seus próprios derivados. Estudos estão voltados para a identificação e purificação de novos compostos com atividade antifúngica que possam atuar sozinhos ou sinergicamente, minimizando a deterioração e o uso dos antifúngicos sintéticos (SOUZA et al., 2012). Nos últimos anos, tem sido dada especial atenção aos fungicidas derivados de plantas, com base no conhecimento de que as plantas têm sua própria defesa contra fungos. Na presença de patógenos (fungos, bactérias e vírus), as plantas podem produzir compostos para se protegerem contra seus ataques. Este uso tem sido apoiado pelo isolamento de compostos com atividade antifúngica oriundos de extratos de plantas, buscando o desenvolvimento de novas drogas efetivas contra fungos patogênicos (GURGEL et al., 2005)

Os compostos fenólicos presentes em plantas podem inibir o desenvolvimento fúngico e a produção de micotoxinas, que se localizam especialmente nos tecidos externos (SOUZA et al., 2012). Agentes antifúngicos presentes em plantas são uma alternativa para substituir os aditivos industriais atualmente empregados (SOUZA et al., 2010).

Staphylococcus aureus, *Pseudomonas aeruginosa*, *Streptococcus mutans*, *Bacillus cereus*, *Escherichia coli* e outras bactérias fartamente distribuídas na natureza, na microbiota normal da pele e na mucosa de animais são espécies frequentemente reconhecidas como agentes etiológicos de infecções oportunistas em muitos animais e humanos (MATIAS et al., 2010). O problema está relacionado à crescente resistência microbiana aos antibióticos, em que a perspectiva futura do uso de novas drogas antimicrobianas é incerta. Neste contexto, as plantas são uma importante fonte de moléculas, que podem se tornar substâncias-chave para o desenvolvimento de novos medicamentos antimicrobianos, podendo o uso de extratos vegetais e fitoquímicos de conhecida atividade antimicrobiana adquirir significado nos tratamentos terapêuticos (LOGUERCIO et al., 2005).

O grande número de grupos hidroxila presente nos compostos fenólicos possibilita a formação de ligações hidrogeniônicas com as proteínas dos microrganismos, alterando sua conformação, conseqüentemente, ocasionando determinada atividade e função (SOLDERA et al., 2010).

Apesar de o modo de ação da atividade antimicrobiana de compostos fenólicos ainda não estar completamente entendido, é possível admitir que o mecanismo de expressão ocorre em função de algumas perturbações, tais como aumento da permeabilidade da membrana celular causando perda dos constituintes celulares, inativação de enzimas essenciais, incluindo as envolvidas no processo de produção de energia, e síntese de componentes estruturais e/ou a destruição ou inativação funcional do material genético (ALMEIDA, 2007).

Como exemplos, estudos conduzidos com *Staphylococcus aureus* mostrou sensibilidade em relação aos taninos, provocando a inibição de enzimas bacterianas pela complexação com outras moléculas como proteínas e polissacarídeos. Os taninos podem ainda atuar sobre as membranas celulares dos microrganismos, modificando seu metabolismo pela complexação com íons metálicos, reduzindo disponibilidade de íons essenciais para o metabolismo microbiano (LOGUERCIO et al., 2005; MONTEIRO et al., 2005).

1.9. Atividade Antitumoral

Mutações gênicas espontâneas ou induzidas por agentes patogênicos promovem crescimento desordenado de células, formando tumores, que, em alguns casos, invadem os tecidos adjacentes e se propagam por processo de metástase, podendo formar tumores secundários em outras partes do corpo. A proliferação da célula cancerígena pode acontecer de maneira lenta, levando vários anos para originar um tumor visível (HUNG et al., 2010; MOORE; LYLE, 2011).

A carcinogênese marca o momento em que as células sofrem alterações nos genes, causadas por agentes cancerígenos. A partir do momento em que as células estão geneticamente alteradas, tem-se o segundo estágio da carcinogênese, chamado de estágio de promoção, seguindo para o estágio de progressão, momento em que ocorre a multiplicação descontrolada e irreversível das células já alteradas (MONTEIRO, 2015). Já no estágio de progressão, as células cancerígenas perdem o mecanismo de reparos dos erros da replicação do DNA antes de a célula entrar em mitose (G2/M), resultando na instabilidade genômica e na proliferação celular não controlada (ZHANG et al., 2015).

Este processo de divisão celular pode ser impedido pelo bloqueio do ciclo na fase G2/M, sendo induzido pelos efeitos antiproliferativos dos flavonoides, que têm propriedades quimioprotetoras contra o câncer, indução de inibidores de CDK via p53 e inibição de radicais livres (SHIN et al., 2009; HUNG et al., 2010)

Diversos medicamentos utilizados no tratamento farmacológico de pacientes com câncer têm gerado efeitos secundários, conseqüentemente aumento do risco de morte desses pacientes que procuram tratamento terapêutico eficiente no combate ao câncer, buscando novos compostos que apresentem características anticarcinogênicas eficazes para o tratamento do câncer, com menos efeitos adversos (HUBER, 2010).

Entre as alternativas para a prospecção de novas moléculas bioativas, podemos destacar a importância das fontes naturais. Os metabólitos secundários de plantas apresentam estruturas semelhantes ao sistema biológico de outros seres vivos, podendo ser utilizados como fontes de novas estruturas para a síntese de moléculas na pesquisa de fármacos. Os compostos fitoquímicos com potencial antitumoral e baixa toxicidade atuam inibindo etapas do crescimento e da proliferação de células cancerígenas por ativação dos mecanismos bioquímicos intracelulares de efeito antitumoral (PRIYADARSINI et al., 2010).

Estudos *in vitro* utilizando flavonoides para avaliação da atividade antitumoral têm mostrado resultados promissores, como promover a indução da apoptose e parada do ciclo celular (G2M) em células de câncer de mama (HAÏDARA et al., 2006), bem como a inibição da expressão de fatores de crescimento, que foi observada em células de câncer de próstata e de mama expostas à silimarina (CHENG et al., 2000), resultado também observado com células de câncer de pulmão (A549), expostas à apigenina (LING-ZHI et al., 2005).

1.10. Degradação de compostos ao longo do processo de secagem

A secagem pode causar variações nas concentrações ou na composição de substâncias voláteis e interferir no seu desempenho sobre as bioatividades (atividade antioxidante, antimicrobiana e antitumoral), dependendo do seu método, da temperatura do ar empregada, das características fisiológicas, além do conteúdo e do tipo de componentes químicos presentes nas plantas submetidas à secagem (RICARDO; ROSA, 2014). Em contrapartida, a secagem, quando bem conduzida, contribui para a facilidade na conservação do produto, estabilidade dos componentes aromáticos em

temperatura ambiente por longos períodos de tempo, proteção contra degradação enzimática e oxidativa, redução da sua massa e economia de energia para indústria e produtores (DIÓGENES et al., 2013).

Na secagem de plantas medicinais, o limite da temperatura do ar é ainda um paradigma, não se recomendando a secagem de plantas medicinais em temperaturas acima de 40 °C. No entanto, o planejamento da secagem deve ser determinado em função da sensibilidade dos princípios ativos da planta medicinal, atentando-se sempre para que determinada faixa de temperatura de secagem propicie menores perdas de óleos essenciais e princípios ativos (ANDREO et al., 2006; ACHKAR et al., 2013).

2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHKAR, M. T.; NOVAES, G. M.; SILVA, M. J. D.; VILEGAS, W. Propriedade antioxidante de compostos fenólicos: importância na dieta e na conservação de alimentos. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 11, n. 2, p. 398–406, 2013. Disponível em: <<http://www.revistas.unincor.br/index.php/revistaunincor/article/view/1151>>. .

AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. **IEEE Transactions on Automatic Control**, v. 19, n. 6, p. 716–723, 1974. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/1100705/>>. .

ALMEIDA, A. A. P. **Atividade antimicrobiana de extratos e de compostos fenólicos e nitrogenados do café: avaliação in vitro e em modelo alimentar**, 2007. Universidade Federal de Minas Gerais.

ALVES, J. J. L.; RODOVALHO, R. S. Cinética de Secagem em Camada de Espuma da Polpa de Abacate cv “Quintal” (*Persea americana* Mill). **Revista Agrotecnologia - Agrotec**, v. 7, n. 1, p. 86–98, 2016. Disponível em: <<http://www.bibliotekevirtual.org/index.php/2013-02-07-03-02-35/2013-02-07-03-03-11/2036-agrotec/v07n01/20971-cinetica-de-secagem-em-camada-de-espuma-da-polpa-de-abacate-cv-quintal-persea-americana-mill.html>>. .

ALVES, S. B. **Estudo experimental da cinética de secagem do abacate (*Persea americana* Mill .)**, 2010. Universidade Federal da Paraíba.

ANDRADE, E. T. DE; CORRÊA, P. C.; TEIXEIRA, L. P.; PEREIRA, R. G.; CALOMENI, J. DE F. Cinética de secagem e qualidade de sementes de feijão. **Engevista**, v. 8, n. 2, p. 83–95, 2010. Disponível em: <<http://www.uff.br/engevista/seer/index.php/engevista/article/viewArticle/195>>. .

ANGELO, P. M.; JORGE, N. Compostos fenólicos em alimentos – Uma breve revisão. **Rev. Inst. Adolfo Lutz**, v. 66, n. 1, p. 1–9, 2007.

BARROS, L.; CALHELHA, R. C.; VAZ, J. A.; et al. Antimicrobial activity and bioactive compounds of Portuguese wild edible mushrooms methanolic extracts. **European Food Research and Technology**, v. 225, n. 2, p. 151–156, 2007. Disponível em: <[internal-pdf://224.118.33.193/Actividad antimicrobiana extractos metanolicos.pdf](internal-pdf://224.118.33.193/Actividad%20antimicrobiana%20extractos%20metanolicos.pdf)> LB - Barros2006%5Cn<http://dx.doi.org/10.1007/s00217-006-0394-x>>. .

BERBERT, P. A.; QUEIROZ, D. M.; SILVA, J. S.; PINHEIRO-FILHO, J. B. Simulation of coffee drying in a fixed bed with periodic airflow reversal. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 60, p. 167–173, 1995.

BISCARO, F.; PARISOTTO, E. B.; ZANETTE, V. C.; et al. Anticancer activity of flavonol and flavan-3-ol rich extracts from *Croton celtidifolius* latex. **Pharmaceutical Biology**, v. 51, n. 6, p. 737–743, 2013.

CARVALHO, S.; SANTANA, L.; SILVA, L. B.; et al. Mortalidade e comprometimento do desenvolvimento de *Zabrotes subfasciatus* Boh . (Coleoptera : Chrysomelidae),

induzido pelo extrato de sangra d'água *Croton urucurana* Baill (Euphorbiaceae). **Comunicata Scientiae**, v. 5, n. 3, p. 331–338, 2014.

CAVALCANTE, J. DE A. **Análise experimental da cinética de secagem da alga marinha *Sargassum* sp**, 2003. Universidade Estadual de Campinas.

CHAICOUSKI, A.; SILVA, J. E. DA; TRINIDADE, J. L. F. DA; CANTERI, M. H. G. Determinação da quantidade de compostos fenólicos totais presentes em extratos líquido e seco de erva-mate (*Ilex paraguariensis*). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 16, n. 1, p. 33–41, 2014.

CHENG, J.; AGARWAL, R.; LU, J. Anti-Angiogenic Potential of a Cancer Chemopreventive Flavonoid Antioxidant, Silymarin: Inhibition of Key Attributes of Vascular Endothelial Cells and Angiogenic Cytokine Secretion by Cancer Epithelial Cells. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v. 276, n. 1, p. 371–378, 2000. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0006291X00934740>>. .

COELHO, P. L. C. **Avaliação da ação antitumoral e imunomodulatória do flavonoide apigenina, extraído de *Croton betulaster* Mull, em células de glioma**, 2013. Universidade Federal da Bahia. Disponível em: <[http://www.repositorio.ufba.br:8080/ri/bitstream/ri/21381/1/Paulo %281%29.pdf](http://www.repositorio.ufba.br:8080/ri/bitstream/ri/21381/1/Paulo%20Coelho%20281%29.pdf)>. .

COLESTINO, S. M. C. **Princípios de secagem de alimentos**. 2010.

CORDEIRO, K. W.; FELIPE, J. L.; MALANGE, K. F.; et al. Anti-inflammatory and antinociceptive activities of *Croton urucurana* Baillon bark. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 183, p. 128–135, 2016. Elsevier. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jep.2016.02.051>>. .

CORRÊA, P. C.; BOTELHO, F. M.; OLIVEIRA, G. H. H.; et al. Mathematical modeling of the drying process of corn ears. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 4, p. 575–581, 2011. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/7079>>. .

CORRÊA, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H.; BOTELHO, F. M.; GONELI, A. L. D.; CARVALHO, F. M. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. **Revista Ceres**, v. 57, n. 5, p. 595–601, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-737X2010000500005&lng=pt&nrm=iso&tlng=en>. .

CORRÊA, P. C.; RIBEIRO, D. M.; RESENDE, O.; BOTELHO, F. M. Determinação e modelagem das propriedades físicas e da contração volumétrica do trigo, durante a secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 665–670, 2006.

COSTA, L. M.; RESENDE, O.; GONÇALVES, D. N.; EMANUEL, D.; OLIVEIRA, C. DE. Modelagem matemática da secagem de frutos de crambe em camada delgada. **Bioscience Journal**, v. 31, n. 2, p. 392–403, 2015.

DANTAS, S. C. DE M. **Desidratação de polpas de frutas pelo método foam-mat**, 2010. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

DIAS, A. **Seleção multivariada e identidade de modelos não lineares para o crescimento e acúmulo de nutrientes em frutos de mangueira**, 2014. Universidade Federal de Lavras.

DIÓGENES, A. D. M. G.; MELO QUEIROZ, A. J. DE; FIGUEIRÊDO, R. M. F. DE; SANTOS, D. D. C. Cinética de secagem de grãos de abóbora. **Revista Caatinga**, v. 26, n. 1, p. 71–80, 2013.

DJOUAHRI, A.; SAKA, B.; BOUDARENE, L.; et al. In vitro synergistic/antagonistic antibacterial and anti-inflammatory effect of various extracts/essential oil from cones of *Tetraclinis articulata* (Vahl) Masters with antibiotic and anti-inflammatory agents. **Industrial Crops and Products**, v. 56, p. 60–66, 2014. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.02.035>>. .

DUARTE-ALMEIDA, J. M.; SANTOS, R. J. DOS; GENOVESE, M. I.; LAJOLO, F. M. Avaliação da atividade antioxidante utilizando sistema β -caroteno / ácido linoleico e método de sequestro de radicais DPPH •. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v. 26, n. 2, p. 446–452, 2006.

DZAMIC, A.; SOKOVIC, M.; RISTIC, M. S.; et al. Chemical composition and antifungal activity of *Illicium verum* and *Eugenia caryophyllata* essential oils. **Chemistry of Natural Compounds**, v. 45, n. 2, p. 259–261, 2009. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s10600-009-9283-4>>. .

EMILIANO, P. C. **Crítérios de informação: como eles se comportam em diferentes modelos**, 2013. Universidade Federal de Lavras.

ENGERS, V. K.; BEHLING, C. S.; FRIZZO, M. N. A influência do estresse oxidativo no processo de envelhecimento celular. **Revista Contexto e Saúde**, v. 10, n. 20, p. 93–102, 2011.

ESMERALDINO, L. E.; SOUZA, A. M.; SAMPAIO, S. V. Evaluation of the effect of aqueous extract of *Croton urucurana* Baillon (Euphorbiaceae) on the hemorrhagic activity induced by the venom of *Bothrops jararaca*, using new techniques to quantify hemorrhagic activity in rat skin. **Phytomedicine**, v. 12, n. 8, p. 570–576, 2005.

FARIA, R. Q. DE; TEIXEIRA, I. R.; DEVILLA, I. A.; ASCHERI, D. P. R.; RESENDE, O. Cinética de secagem de sementes de crambe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 5, p. 573–583, 2007.

FERNANDES, T. J.; PEREIRA, A. A.; MUNIZ, J. A.; SAVIAN, T. V. Seleção de modelos não lineares para a descrição das curvas de crescimento do fruto do cafeeiro. **Coffee Science**, v. 9, n. 2, p. 207–215, 2014.

FERREIRA, I. C. F. R.; ABREU, R. M. V. Stress Oxidativo, Antioxidantes e Fitoquímicos. **Bioanálise**, v. 2, p. 32–39, 2007. Disponível em: <https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/2711/1/Publicação_Nacional_Sress_oxidativo.pdf>. .

FILHO, L. C. C.; ANDRADE, E. T. D.; MARTINAZZO, A. P.; et al. Cinética de secagem, contração volumétrica e análise da difusão líquida do figo (*Ficus carica* L.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 8, p. 797–802, 2015.

FLAMBÓ, D. F. A. L. P. **Atividades biológicas dos flavonoides: atividade antimicrobiana**, 2013. Universidade Fernando Pessoa.

FRANCO, E. A. P.; BARROS, R. F. M. Uso e diversidade de plantas medicinais no Quilombo Olho D'água dos Pires, Esperantina, Piauí. **Revista Brasileira de P**, v. 8, n. 3, p. 78–88, 2004.

GASPARIN, P. P.; CHRIST, D.; COELHO, S. R. M. Drying of *Mentha piperita* leaves on a fixed bed at different temperatures and air velocities. **REVISTA CIÊNCIA AGRONÔMICA**, v. 48, n. 2, p. 242–250, 2017. Disponível em: <<http://www.gnresearch.org/doi/10.5935/1806-6690.20170028>>. .

GOMES, N. H. F.; NETO, H. C. DA S.; ALVES, J. J. L.; RODOVALHO, R. S.; SOUSA, C. M. Cinética de secagem de folhas de *Cymbopogon citratus*. **Engevista**, v. 19, n. 2, p. 328–338, 2017.

GONELI, A. L. D. **Variação das propriedades físico-mecânicas e da qualidade da mamona (*Ricinus communis* L.) durante a secagem e o armazenamento**, 2008. Universidade Federal de Viçosa.

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

GRAÇA, V. C.; BARROS, L.; CALHELHA, R. C.; et al. Chemical characterization and bioactive properties of aqueous and organic extracts of *Geranium robertianum* L. **Food & Function**, v. 7, n. 9, p. 3807–3814, 2016. Royal Society of Chemistry. Disponível em: <<http://xlink.rsc.org/?DOI=C6FO01075J>>. .

GURGEL, L. A.; SIDRIM, J. J. C.; MARTINS, D. T.; FILHO, V. C.; RAO, V. S. In vitro antifungal activity of dragon's blood from *Croton urucurana* against dermatophytes. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 97, n. 2, p. 409–412, 2005.

HAÏDARA, K.; ZAMIR, L.; SHI, Q. W.; BATIST, G. The flavonoid Casticin has multiple mechanisms of tumor cytotoxicity action. **Cancer Letters**, v. 242, n. 2, p. 180–190, 2006.

HORST, H. **Análise química e biológica dos constituintes fenólicos de *Croton celtidifolius* baill**, 2008. Universidade Federal de Santa Catarina.

HUANG, J.-H.; HUANG, C.-C.; FANG, J.-Y.; et al. Protective effects of myricetin against ultraviolet-B-induced damage in human keratinocytes. **Toxicology in Vitro**, v. 24, n. 1, p. 21–28, 2010. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tiv.2009.09.015>>. .

HUBER, L. D. A. **Avaliação da Atividade Antitumoral do Extrato de Sangra d'Água frente à Linhagem Humana de Câncer de Pulmão de Células não**

Pequenas a549 (Adenocarcinoma), 2010. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

HUNG, J.-Y.; HSU, Y.-L.; KO, Y.-C.; et al. Didymin, a dietary flavonoid glycoside from citrus fruits, induces Fas-mediated apoptotic pathway in human non-small-cell lung cancer cells in vitro and in vivo. **Lung Cancer**, v. 68, n. 3, p. 366–374, 2010. Elsevier Ireland Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.lungcan.2009.08.013>>. .

KASHANINEJAD, M.; MORTAZAVI, A.; SAFEKORDI, A.; TABIL, L. G. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 1, p. 98–108, 2007. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0260877405006424>>. .

KOCHE, D.; SHIRSAT, R.; IMRAN, S.; BRADANGE, D. G. Phytochemical screening of eight traditionally used ethnomedicinal plants from akola district (MS) India. **International Journal of Pharma and Bio Sciences**, v. 1, n. 4, p. B-253-B-256, 2010.

LIMA, L. DE A.; SILVA, J. B. DA; LIMA, A. G. B. DE. Transferência de calor e massa durante a secagem de sólidos com forma arbitrária: uma abordagem concentrada. **Engenharia Agrícola Jaboticabal**, v. v.23, n. 1, p. 150–162, 2003.

LING-ZHI, L.; FANG, J.; ZHOU, Q.; et al. Apigenin Inhibits VEGF Expression and Angiogenesis in Human Lung Cancer Cells: Implication of chemoprevention of lung cancer. **Molecular Pharmacology**, v. 9, 2005. Disponível em: <<http://molpharm.aspetjournals.org/cgi/doi/10.1124/mol.105.011254>>. .

LOGUERCIO, A. P.; BATTISTIN, A.; VARGAS, A. C. DE; HENZEL, A.; WITT, N. M. Atividade antibacteriana de extrato hidro-alcoólico de folhas de jabolão (*Syzygium cumini* (L.) Skells). **Ciência Rural**, v. 35, n. 2, p. 371–376, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782005000200019&lng=pt&tlng=pt>. .

LOPES, R. P.; SILVA, J. DE S. E; REZENDE, R. C. Princípios básicos de psicometria. In: J. de S. e Silva (Org.); **Secagem e Armazenamento de Produtos Agrícolas**. v. 1, p.39–62, 2008. Viçosa: CD-ROM.

LUIZ, J.; JÚNIOR, R.; STUKER, C. Z.; PERUZZO, G. M.; PERES, M. T. L. P. Essential oil of *Croton urucurana* Baillon (Euphorbiaceae) Stem Bark. **J. Braz. Chem. Soc.**, v. 18, n. 5, p. 879–885, 2007.

MACIEL, M. A. M.; PINTO, A. C.; VEIGA-JÚNIOR, V. F.; GRYNBERG, N. F.; ECHEVARRIA, A. Plantas Medicinais: A necessidade de estudos multidisciplinares. **Química Nova**, v. 25, n. 3, p. 429–438, 2002.

MARCIA, L.; SILVA, D. M. Modelos de predição da cinética de secagem dos grãos de guandu. , p. 310–318, 2014.

MARCINKOWSKI, E. DE A. **Estudo da cinética de secagem, curvas de sorção e predição de propriedades termodinâmicas da proteína texturizada de soja**, 2006. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MAROULIS, Z. B.; SARAVACOS, G. D.; PANAGIOTOU, N. M.; KROKIDA, M. K.

Moisture diffusivity data compilation for foodstuffs: effect of material moisture content and temperature. **International Journal of Food Properties**, v. 4, n. 2, p. 225–237, 2001. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1081/JFP-100105189>>. .

MARTINAZZO, A. P.; CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; MELO, E. D. C. Análise e descrição matemática da cinética de secagem de folhas de capim-limão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 3, p. 301–306, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662007000300009&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>. .

MARTINAZZO, A. P.; MELO, E. C.; SANTOS, R. H. S. Modelagem matemática e parâmetros qualitativos da secagem de folhas de capim- limão [*Cymbopogon citratus* (DC .) Stapf]. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 12, n. 4, p. 488–498, 2010.

MARTINS, E. A. S.; LAGE, E. Z.; GONELI, A. L. D.; HARTMANN FILHO, C. P.; LOPES, J. G. Cinética de secagem de folhas de timbó (*Serjania marginata* Casar). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 238–244, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662015000300238&lng=pt&nrm=iso&tlng=en>. .

MATIAS, E. F. F.; SANTOS, K. K. A.; ALMEIDA, T. S.; COSTA, J. G. M.; COUTINHO, H. D. M. Atividade antibacteriana In vitro de *Croton campestris* A ., *Ocimum gratissimum* L . e *Cordia verbenacea* DC . **Revista Brasileira de Biociências**, v. 8, n. 3, p. 294–298, 2010.

MATOS, J. M. D. DE. **Estudo da secagem da flor de cardo e análise de polissacarídeos e compostos fenólicos**, 2014. Instituto Politécnico de Viseu.

MAZEROLLE, M. J. **Mouvements et reproduction des amphibiens en tourbières perturbées. Faculté de Foresterie et de Géomatique**, 2004. l'Université Laval. Disponível em: <<http://www.theses.ulaval.ca/cocoon/meta/2004/21842.xml>>. .

MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, v. 66, n. 4, p. 513–518, 2005.

MONTEIRO, J. M.; ALBUQUERQUE, U. P. DE; ARAÚJO, E. DE L.; AMORIM, E. L. C. DE. Taninos: uma abordagem da química à ecologia. **Química Nova**, v. 28, n. 5, p. 892–896, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422005000500029&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>. .

MONTEIRO, L. P. **Determinação da atividade citotóxica do extrato vegetal de *Croton urucurana* Baill em linhagens de células tumorais**, 2015. Universidade Federal de Viçosa.

MOORE, N.; LYLE, S. Quiescent, Slow-Cycling Stem Cell Populations in Cancer: A Review of the Evidence and Discussion of Significance. **Journal of Oncology**, v. 2011, p. 1–11, 2011. Disponível em: <<http://www.hindawi.com/journals/jo/2011/396076/>>. .

MORAIS, S. J. DA S.; DEVILLA, I. A.; FERREIRA, D. A.; TEIXEIRA, I. R. Modelagem matemática das curvas de secagem e coeficiente de difusão de grãos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L .) Walp .). **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n.

3, p. 455–463, 2013.

NUNES, J. S.; CASTRO, D. S. DE; MOREIRA, I. DOS S.; SOUSA, F. C. DE; SILVA, W. P. DA. Descrição cinética de secagem da polpa de jabuticaba usando modelos empíricos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n. 83, p. 1–5, 2014.

OLIVEIRA, A. R. **Avaliação do efeito da secagem de folhas de *Passiflora edulis*, em estufa com circulação de ar, sobre o rendimento de flavonoides**, 2011. Universidade Estadual da Paraíba.

OLIVEIRA, D. E. C. DE; RESENDE, O.; CHAVES, T. H.; SOUSA, K. A. DE; SMANIOTTO, T. A. DE S. Propriedades termodinâmicas das sementes de Pinhão-Manso. **Biosci. J**, v. 30, n. 1, p. 147–157, 2014.

OLIVEIRA, G. H. H. DE; ARAGÃO, D. M. S.; OLIVEIRA, A. P. L. R. DE; SILVA, M. G.; GUSMÃO, A. C. A. Modelagem e propriedades termodinâmicas na secagem de morangos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 18, n. 4, p. 314–321, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1981-67232015000400314&lng=pt&tlng=pt>. .

PALANDI, J.; FIGUEIREDO, D. B.; DENARDIN, J. C.; MAGNAGO, P. R. Teoria Cinética e Termodinâmica. , 2010. Santa Maria. Disponível em: <<http://coral.ufsm.br/gef/Calor/calor27.pdf>>. .

PAOLI, A A S.; FREITAS, L.; BARBOSA, J. M. Caracterização morfológica dos frutos, sementes e plântulas de *Croton floribundus* Spreng. e de *Croton urucurana* Baill (Euphorbiaceae). **Revista Brasileira de sementes**, v. 17, n. 1, p. 57–68, 1995.

PARK, K. J. B.; PARK, K. J.; ALONSO, L. F. T.; CORNEJO, F. E. P.; FABBRO, I. M. D. Secagem: fundamentos e equações. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 16, n. 1, p. 93–126, 2014.

PEDRO, M. A. M. **Influência de encapsulantes e do método de secagem nas propriedades físico-químicas e atributos de qualidade de polpa de maracujá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) em pó**, 2009. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.

PERES, M. T. L. .; MONACHE, F. D.; CRUZ, A. B.; PIZZOLATTI, M. G.; YUNES, R. A. Chemical composition and antimicrobial activity of *Croton urucurana* Baillon (Euphorbiaceae). **Journal of Ethnopharmacology**, v. 56, n. 3, p. 223–226, 1997. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378874197000391>>. .

PETRY, V. J. **Desenvolvimento de um modelo para transferência de calor e massa em meios granulares**, 2007. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

PINELA, J. V. S. **Efeito do processo de secagem no potencial antioxidante e na composição fitoquímica de plantas medicinais da família Fabaceae**, 2012. Instituto Politécnico de Bragança.

PIZZOLATTI, M. G.; BORTOLUZZI, A. J.; BRIGHENTE, I. M. C.; et al. Clerodane diterpenes from bark of *Croton urucurana* baillon. **Journal of the Brazilian Chemical**

Society, v. 24, n. 4, p. 609–614, 2013.

PREMI, M.; SHARMA, H. K.; SARKAR, B. C.; SINGH, C. Kinetics of drumstick leaves (*Moringa oleifera*) during convective drying. **African Journal of Plant Science**, v. 4, n. 10, p. 391–400, 2010.

PRIYADARSINI, R. V.; SENTHIL MURUGAN, R.; MAITREYI, S.; et al. The flavonoid quercetin induces cell cycle arrest and mitochondria-mediated apoptosis in human cervical cancer (HeLa) cells through p53 induction and NF- κ B inhibition. **European Journal of Pharmacology**, v. 649, n. 1–3, p. 84–91, 2010. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejphar.2010.09.020>>. .

PUIATTI, G. A. **Técnica de Agrupamento na seleção de modelos de regressão não lineares para descrição do acúmulo de matéria seca em plantas de alho**, 2014. Universidade Federal de Viçosa.

RAMOS, B. A. **Estudo cinético e termodinâmico da secagem das sementes de Pinhão - Manso (*Jatropha curcas* L .)**, 2013. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

RAO, V. S.; GURGEL, L. A.; LIMA-JÚNIOR, R. C. P.; et al. Dragon's blood from *Croton urucurana* (Baill.) attenuates visceral nociception in mice. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 113, n. 2, p. 357–360, 2007.

RAVANELLI, N.; SANTOS, K. P.; MOTTA, L. B.; LAGO, J. H. G.; FURLAN, C. M. Alkaloids from *Croton echinocarpus* Baill.: Anti-HIV potential. **South African Journal of Botany**, v. 102, p. 153–156, 2016. South African Association of Botanists. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0254629915003336>>. .

REIS, R. M.; CECON, P. R.; PUIATTI, M.; et al. Modelos de regressão não linear aplicados a grupos de acessos de alho. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n. 2, p. 178–183, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-05362014000200178&lng=pt&tlng=pt>. .

REIS, R. M. DOS. **Modelos de regressão não linear para descrição do crescimento de plantas de alho**, 2012. Universidade Federal de Viçosa.

RESENDE, O.; CORRÊA, P. C.; LUÍS, A.; et al. Modelagem matemática do processo de secagem de duas variedades de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Productos Agroindustriais**, v. 10, n. 1, p. 17–26, 2008.

RESENDE, O.; FERREIRA, L. U.; ALMEIDA, D. P. Modelagem matemática para descrição da cinética de secagem do feijão Adzuki (*Vigna angularis*). **Revista Brasileira de Productos Agroindustriais**, v. 12, n. 2, p. 171–178, 2010. Disponível em: <<http://www.deag.ufcg.edu.br/rbpa/rev122/Art1228.pdf>>. .

RESENDE, O.; RODRIGUES, S.; SIQUEIRA, V. C.; ARCANJO, R. V. Cinética da secagem de clones de café (*Coffea canephora* Pierre) em terreiro de chão batido. **Acta Amazonica**, v. 40, n. 2, p. 247–255, 2010.

RIBEIRO, T. D. **Modelos de regressão não linear na descrição da cinética de**

secagem de polpa de jabuticaba, 2015. Universidade Federal de Lavras.

RIBEIRO, T. D.; MUNIZ, J. A.; BORGES, S. Comparação de modelos não lineares na descrição da cinética de secagem de frutos de Banana Prata , por convecção natural. , v. 3, n. 2, p. 1–5, 2011.

RICARDO, L. P.; ROSA, G. S. Análise da influência da velocidade e da temperatura do ar na secagem de folhas de eucalipto através da técnica de planejamento experimental. X Congresso Brasileiro de Engenharia Química Iniciação Científica. **Anais...** . v. 1, p.8–11, 2014.

RODOVALHO, R. S. **Isotermas de sorção e cinética de secagem dos grãos de pimenta bode (*Capsicum chinense* L. Jacquin)**, 2014.

SALATINO, A.; SALATINO, M. L. F.; NEGRI, G. Traditional uses, chemistry and pharmacology of Croton species (Euphorbiaceae). **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 18, n. 1, p. 11–33, 2007.

SANTOS, A. E.; MARTINS, G. M. V.; CANUTO, M. F. C. S.; VIEIRA SEGUNDO, J. E. D.; ALMEIDA, R. D. Modelagem matemática para a descrição da cinética de secagem do fruto da palma (*Opuntia ficus indica*). **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 1, p. 1, 2016. Disponível em: <<http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/3897>>. .

SCHWARZ, G. Estimating the Dimension of a Model. **The Annals of Statistics**, v. 6, n. 2, p. 461–464, 1978. Disponível em: <<http://projecteuclid.org/euclid.aos/1176344136>>. .

SHIN, E. K.; KWON, H.-S.; KIM, Y. H.; SHIN, H.-K.; KIM, J.-K. Chrysin, a natural flavone, improves murine inflammatory bowel diseases. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v. 381, n. 4, p. 502–507, 2009. Elsevier Inc. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.bbrc.2009.02.071>>. .

SILVA, H. R. P. DA; CUCO, R. P.; PORCIUNCULA, B. D. A.; SILVA, C. DA. Avaliação dos parâmetros termodinâmicos e cinéticos de cenouras submetidas a secagem convectiva. **e-xacta**, v. 10, n. 2, p. 73, 2017. Disponível em: <<http://revistas.unibh.br/index.php/dcet/article/view/2171>>. .

SILVA, H. W. DA; RODOVALHO, R. S.; VELASCO, M. F.; SILVA, C. F.; VALE, L. S. R. Kinetics and thermodynamic properties related to the drying of “Cabacinha” pepper fruits. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 2, p. 174–180, 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662016000200174&lng=en&nrm=iso&tlng=en>. .

SILVA, J. DE S. E; AFONSO, A. D. L.; DONZELLES, S. M. L. Secagem e Secadores. In: J. de S. e Silva (Org.); **Secagem e Armazenamento de Produtos Agrícolas**. 1º ed., v. 1, p.107–138, 2008. Viçosa.

SILVA, L. A.; RESENDE, O.; VIRGOLINO, Z. Z.; et al. Cinética de secagem e difusividade efetiva em folhas de jenipapo (*Genipa americana* L.). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 17, n. 4 suppl 2, p. 953–963, 2015. Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-05722015000600953&lng=pt&nrm=iso&tlng=en>. .

SILVA, N. A. M. DA. **Seleção de modelos de regressão não lineares e aplicação do algoritmo saem na avaliação genética do crescimento de bovinos nelore**, 2010. Universidade Federal de Minas Gerais.

SILVA, S. C. D. S.; ALVES, M. A.; SOUSA, S. A. DE; et al. Perfil fitoquímico, susceptibilidade antibacteriana e capacidade antioxidante das folhas de *Croton urucurana* Baillon (Euphorbiaceae). **Infarma - Ciências Farmacêuticas**, v. 29, n. 3, p. 264, 2017. Disponível em: <[http://revistas.cff.org.br/?journal=infarma&page=article&op=view&path\[\]=2075](http://revistas.cff.org.br/?journal=infarma&page=article&op=view&path[]=2075)>. .

SOLDERA, C. C.; ZANELLA, G. N.; FRASSON, A. P. Z. Avaliação da atividade antibacteriana de *Croton urucurana*. **Revista Contexto Saúde**, v. 10, n. 19, p. 25–31, 2010.

SOUSA, F. .; MARTINS, J. J. .; ROCHA, A. P. .; et al. Predição de modelos sobre a cinética de secagem de folhas de *Ziziphus joazeiro* Mart. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 17, n. 2, p. 195–200, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-05722015000200195&lng=pt&tlng=pt>. .

SOUSA, I. F. **Ajuste de modelos não lineares na descrição de germinação de sementes de café (*Coffea arabica* L.) cv. Catuaí**, 2012. Universidade Federal de Lavras.

SOUZA, C. D. DE; FELFILI, J. M. Uso de plantas medicinais na região de Alto Paraíso de Goiás , GO , Brasil. **Acta Botânica Brasileira**, v. 20, n. 1, p. 135–142, 2006.

SOUZA, M. M. DE; OLIVEIRA, M. D. S.; ROCHA, M. DA; FURLONG, E. B. Avaliação da atividade antifúngica de extratos fenólicos de cebola, farelo de arroz e microalga *Chlorella phyrenoidosa*. **Ciencia e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 3, p. 680–685, 2010.

SOUZA, M. M. DE; ROCHA, M. DA; OLIVEIRA, M. DOS S.; DADIALE-FURLONG, E. Avaliação das atividades antifúngica e antimicotóxina de extratos fenólicos de farelo de arroz. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 71, n. 3, p. 437–441, 2012.

SOUZA, V. C. DE. **Estudos quantitativos de compostos antioxidantes em sangra-d'água (*Croton urucurana* Baill.)**, 2013. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia - Câmpus Rio Verde Goiano.

TABALDI, L. A.; VIEIRA, M. DO C.; ZÁRATE, N. A.; et al. Cover crops and their effects on the biomass yield of *Serjania marginata* plants. **Ciência Rural**, v. 42, n. 4, p. 614–620, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782012000400006&script=sci_arttext>. .

TASSO, M. J.; SOUZA, A. O. DE; DORTA, D. J. **Avaliação da citotoxicidade do flavonoide kaempferol em células HepG2**, 2011. Universidade de São Paulo.

VARANIS, L. F. M.; SILVA, N. A. M. DA; TEIXEIRA, A. DE M. Seleção de modelos não lineares para estimação da curva de lactação de vacas mestiças pelo método de análise de agrupamento. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 3, p. 28–37, 2016.

VERDE, G. M. V.; PAULA, J. R.; CANEIRO, D. M. Levantamento etnobotânico das plantas medicinais do cerrado utilizadas pela população de Mossâmedes (GO). **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 13, n. 0102–695X, p. 64–66, 2003.

VIEIRA, G. T.; OLIVEIRA, T. T. DE; MONTEIRO, L. P.; et al. Atividade citotóxica do extrato de *Croton urucurana* Baill contra linhagens de células leucêmicas humanas U937 E THP1. **Ciência e Natura**, v. 39, n. 3, p. 512, 2017. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/23281>>. .

VIGANÓ, J. **Propriedades termodinâmicas de adsorção de água e cinética de secagem de subprodutos da industrialização de abacaxi (*Ananas comosus* L.) - Cascas e cilindro central.**, 2012. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.

WOLFF CORDEIRO, K.; APARECIDA PINTO, L.; NAZARI FORMAGIO, A. S.; et al. Antiulcerogenic effect of *Croton urucurana* Baillon bark. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 143, n. 1, p. 331–337, 2012. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378874112004448>>. .

YOGENDRARAJAH, P.; SAMAPUNDO, S.; DEVLIEGHERE, F.; SAEGER, S. DE; MEULENAER, B. DE. Moisture sorption isotherms and thermodynamic properties of whole black peppercorns (*Piper nigrum* L.). **LWT - Food Science and Technology**, v. 64, n. 1, p. 177–188, 2015. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2015.05.045>>. .

ZHANG, M.; CHEN, H.; MUJUMDAR, A. S.; ZHONG, Q.; SUN, J. Recent Developments in High-Quality Drying with Energy-Saving Characteristic for Fresh Foods. **Drying Technology**, v. 33, n. 13, p. 1590–1600, 2015. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/07373937.2015.1012267>>. .

1. OBJETIVOS

1.1. Geral

Estudar a cinética de secagem das folhas de sangra d'água (*Croton urucurana* Baill.) em diferentes condições do ar de secagem, visando a obter as propriedades termodinâmicas, além de promover a separação dos compostos dos extratos, sua identificação e quantificação, utilizando a técnica de HPLC/MS, bem como fazer a associação da degradação de compostos fenólicos em função das temperaturas de secagem.

1.2. Específicos

- Determinar as curvas de secagem das folhas de sangra d'água (*Croton urucurana* Baill.) nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C;
- Selecionar um modelo matemático que melhor represente a cinética de secagem dos materiais, por meio de análise multivariada e agrupamento de modelos;
- Separar, identificar e quantificar os compostos presentes nos extratos das folhas, galhos e periderme de sangra d'água, utilizando a técnica de HPLC/MS, em função das temperaturas de secagem.
- Fazer teste para atividades antioxidante, antimicrobiana, antitumoral e citotóxica em função da temperatura de secagem.

CAPÍTULO I

SELEÇÃO MULTIVARIADA DE MODELOS PARA A CINÉTICA DE SECAGEM DAS FOLHAS DE *Croton urucurana* Baill.

RESUMO: A espécie *Croton urucurana* Baill é conhecida popularmente como sangra d'água, sendo usada popularmente pelos seus potenciais de cura. Para o melhor processamento de fitoterápicos, é essencial o desenvolvimento de técnicas eficientes de secagem e armazenamento, visando à boa conservação de seus compostos. Assim, objetivou-se, com este trabalho, selecionar, pela análise de agrupamento, modelos para descrever a cinética de secagem das folhas, galhos e periderme (casca) de sangra d'água (*Croton urucurana* B.) em diferentes temperaturas do ar de secagem (40, 50, 60 e 70 °C), bem como promover o ajuste de modelos matemáticos, determinar o coeficiente de difusão e a energia de ativação durante o processo, além de determinar suas propriedades termodinâmicas. O modelo de Cavalcanti Mata foi selecionado para representar a cinética de secagem das folhas de *Croton urucurana* B. A elevação da temperatura de secagem promove o aumento do coeficiente de difusão efetivo com valores de $0,442 \times 10^{-11}$; $0,576 \times 10^{-11}$; $1,47 \times 10^{-11}$ e $2,76 \times 10^{-11}$ m s⁻¹ para as temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C, respectivamente. A energia de ativação para a difusão líquida durante a secagem das folhas de *Croton urucurana* B. foi de 57,21 kJ mol⁻¹. Com a elevação da temperatura do ar, ocorre diminuição da entalpia e da entropia e aumento da energia livre de gibbs.

PALAVRAS-CHAVE: Modelo matemático; compostos bioativos; propriedades termodinâmicas

**MULTIVARIATE SELECTION OF MODELS FOR THE DRYING KINETICS
OF THE *Croton urucurana* Baill. LEAVES**

ABSTRACT: The *Croton urucurana* Baill. species, popularly known as Sangra d'água, is commonly used due to its healing potentials. For the best herbal processing, developing efficient drying and storage techniques is essential, aiming at the good conservation of its compounds. Thus, this paper aimed to: (a) select models by cluster analysis to describe the drying kinetics of leaves, branches, and periderm (bark) of Sangra d'água (*Croton urucurana* B.) at different drying air temperatures (40, 50, 60, and 70 °C); (b) promote the mathematical model adjustment; (c) determine the diffusion coefficient and the activation energy during the process; and (d) to determine its thermodynamic properties. The Cavalcanti Mata model was selected to represent the drying kinetics of *Croton urucurana* B. leaves. The increase of the drying temperature promotes an increase of the effective diffusion coefficient with values of 0.442×10^{-11} ; 0.576×10^{-11} ; 1.47×10^{-11} ; and $2.76 \times 10^{-11} \text{ m s}^{-1}$ for 40, 50, 60, and 70 °C temperatures, respectively. The activation energy for the net diffusion during drying of *Croton urucurana* B. leaves was $57.21 \text{ kJ mol}^{-1}$. Increasing the air temperature, enthalpy and entropy decrease, and Gibbs free energy increases.

KEYWORDS: Mathematical model. Bioactive compounds. Thermodynamic properties.

1. INTRODUÇÃO

O uso de plantas no tratamento e na cura de enfermidades é tão antigo quanto a espécie humana (MACIEL et al., 2002), tendo se tornado uma arte, fundamentada no acúmulo de informações repassadas pelas gerações (FRANCO; BARROS, 2004).

A diversidade biológica encontrada no Brasil desperta o interesse de inúmeras comunidades científicas internacionais, que procuram uma nova fonte de compostos com potencial para serem utilizados como base para síntese de moléculas de novos fármacos (SOUZA; FELFILI, 2006). No coração do país, encontra-se o bioma Cerrado, uma das maiores floras vegetais mundiais, estimada em aproximadamente sete mil espécies, compondo um cenário de diversidade biológica com potencial quase que inexplorado em sua totalidade (VERDE et al., 2003).

Neste cenário, encontra-se a *Croton urucurana* Baill, conhecida popularmente como sangra d'água, planta de porte alto que apresenta seiva com coloração vermelha, predominante de matas ciliares ou de várzeas (RAO et al., 2007). Sua seiva apresenta grande variedade de fitoquímicos que proporcionam atividade anti-hemorrágica, anti-inflamatória, antisséptica, cicatrizante e potencial ação antifúngica e entomológica (SOLDERA et al., 2010; CARVALHO et al., 2014).

A obtenção de produtos fitoterápicos tem como principal matéria-prima as partes aéreas das plantas medicinais e aromáticas, como cascas, folhas, galhos e flores, onde são encontradas maiores quantidades de fitoquímicos, produtos do metabolismo secundário, que trabalham para formar uma parte do sistema de defesa da planta (KOCHE et al., 2010; SILVA et al., 2015). Após a colheita, algumas modificações podem influenciar na eficácia e na manutenção dos compostos bioativos presentes em plantas medicinais, em virtude da quantidade de água ainda disponível, que mantém ativo o mecanismo metabólico e a atividade enzimática (MACIEL et al., 2002; MORAIS et al., 2013; SILVA et al., 2015). A secagem é o processo mais recomendado para assegurar a manutenção da qualidade e da estabilidade pós-colheita.

A secagem é definida como uma operação destinada a eliminar a água, ou qualquer outro líquido contido em um sólido, a um nível mínimo do teor de água no qual possa ser armazenado por longos períodos, sem que ocorram perdas significativas (CAVALCANTI, 2003; MARTINAZZO; MELO; SANTOS, 2010).

A rapidez com que o sólido perde umidade é controlada pelas características da matriz do produto e pelas variáveis temperatura, velocidade e umidade relativa do ar (COLESTINO, 2010).

O processamento de produtos naturais preconiza o desenvolvimento de técnicas eficientes de secagem e armazenamento para que a biomassa produzida pela planta e suas propriedades químicas possam ser aproveitadas de maneira integral e efetiva (TABALDI et al., 2012; MARTINS et al., 2015), mantendo a qualidade e a conservação de compostos que serão utilizados na produção de medicamentos.

Estudos de sistemas de secagem, dimensionamento e determinação da viabilidade da aplicação comercial podem ser feitos por simulação matemática, representando satisfatoriamente a perda de água do produto durante o processo de secagem (MARTINAZZO et al., 2010). A descrição do processo físico da secagem por meio de modelos matemáticos tem grande relevância no dimensionamento e aperfeiçoamento de equipamentos de secagem, fornecendo informações e estimativas do tempo necessário para a redução do teor de água do produto em diferentes pontos da curva de secagem (BERBERT et al., 1995; ANDRADE et al., 2010).

Em algumas situações, mais de um modelo pode descrever o mesmo fenômeno, haja vista que não há uma única metodologia a ser seguida, e um bom modelo deve apresentar equilíbrio entre a qualidade do ajuste e a complexidade, que, geralmente, é medida pelo número de parâmetros (MAZEROLLE, 2004; EMILIANO, 2013). Quando ajustados a um mesmo conjunto de dados, os avaliadores da qualidade de ajuste são utilizados para comparar os diferentes modelos de regressão não linear existentes e indicar o melhor (DIAS, 2014). Quanto maior o número de parâmetros estatísticos da qualidade de ajuste considerados, melhor será a indicação dos modelos (EMILIANO, 2013; VARANIS et al., 2016).

A utilização de um grande número de avaliadores poderá transformar a escolha dos modelos em uma atividade complexa, visto que cada avaliador preconiza determinada característica, podendo um mesmo modelo apresentar alto desempenho para um avaliador e baixo, para outros (SILVEIRA et al., 2011).

O agrupamento pela aplicação de métodos multivariados de classificação permite reunir modelos cujos resultados sejam semelhantes em relação a todos os avaliadores considerados e indicar um modelo que se encontre dentro dos grupos que apresentaram melhores ajustes para todas ou para a maioria das condições estudadas.

Desta maneira, objetivou-se com este trabalho selecionar, pela análise de agrupamento, modelos para descrever a cinética de secagem das folhas, galhos e periderme (casca) de sangra d'água (*Croton urucurana* B.) em diferentes temperaturas do ar de secagem (40, 50, 60 e 70 °C), bem como promover o ajuste de modelos matemáticos, determinar o coeficiente de difusão e a energia de ativação durante o processo, além de determinar suas propriedades termodinâmicas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Vegetais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde, com as operações de desfolha e seleção. Foram utilizados como matéria-prima a periderme (casca), retirada na altura do peito, as folhas e os galhos do terço médio das plantas de *Croton urucurana* B., coletadas no período de 7h30min às 8h da manhã, no mês de janeiro de 2017, oriundas da região da cidade de Santo Antônio da Barra – GO. As exsiccatas foram registradas no Herbário do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde sob o número 602.

A secagem foi conduzida em estufa com circulação forçada de ar, modelo Marconi MA35, nas temperaturas do ar de secagem de 40, 50, 60 e 70 °C e a média das umidades relativas foram de 33,74; 20,01; 12,37 e 7,95%, respectivamente. As bandejas contendo o produto vegetal com camada de aproximadamente 0,15 cm foram removidas e pesadas periodicamente. Para elaboração das curvas de secagem e acompanhamento do material, as pesagens foram feitas a cada 15 min, até o equilíbrio higroscópico quando o produto atingiu massa constante. Ao final de cada processo, parte do material foi acondicionada em cápsulas de metal e conduzida para estufa com circulação de ar forçado, a 103 °C, por 24 horas, para determinação do teor de água final (ASAE, 2000). A temperatura e a umidade relativa do ar ambiente externo foram monitoradas por meio de *data logger*, modelo *LogBox*, durante o período de secagem a cada temperatura, e a umidade relativa no interior do secador foi obtida por meio dos princípios básicos de psicrometria, com o auxílio do programa computacional GRAPSI.

Para a determinação das razões de teor de água das folhas, galhos e periderme de *Croton urucurana* B. durante a secagem, utilizou-se a seguinte expressão:

$$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} \quad (1)$$

Em que RX é a razão de teor de água do produto, adimensional; X : teor de água do produto (b.s.); X_i , o teor de água inicial do produto (b.s.); e X_e , o teor de água de equilíbrio do produto (b.s.).

Os dados experimentais de razão de teor de água, durante a secagem das folhas, galhos e periderme de *Croton urucurana* B., foram ajustados a treze modelos matemáticos frequentemente utilizados para representação do fenômeno de secagem de produtos vegetais (Tabela 1).

Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados para prever a secagem de produtos vegetais

Designação do Modelo	Modelo	
$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1 - a) \cdot \exp(-k \cdot b \cdot t)$	Aproximação da Difusão	(2)
$RX = a_1 \cdot \exp(-(k_1 \cdot [t])^{n_1}) + a_2 \cdot \exp(-(k_1 \cdot [t])^{n_2}) + a_3$	Cavalcanti Mata	(3)
$RX = a \cdot \exp(-k_0 \cdot t) + b \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$	Dois Termos	(4)
$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1 - a) \cdot \exp(-k \cdot a \cdot t)$	Exponencial de Dois Termos	(5)
$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + b \cdot \exp(-k_1 \cdot t) + c \cdot \exp(-k_2 \cdot t)$	Henderson e Pabis Modificado	(6)
$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t)$	Henderson e Pabis	(7)
$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + b$	Logaritmo	(8)
$RX = \frac{a_0}{1 + a \cdot \exp(kt)}$	Logístico	(9)
$RX = a \cdot \exp [(-k \cdot t^n) + b \cdot t]$	Midilli	(10)
$RX = \exp(-k \cdot t)$	Newton	(11)
$RX = \exp(-k \cdot t^n)$	Page	(12)
$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t)^n$	Page Modificado	(13)
$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1 - a) \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$	Verma	(14)
$RX = 1 + at + bt^2$	Wang e Sing	(15)

Em que: t é o tempo de secagem, h; k , k_0 , k_1 , constantes de secagem h^{-1} ; e a , b , c e n , parâmetros dos modelos.

Os modelos matemáticos foram ajustados aos dados experimentais de secagem por meio de análise de regressão não linear pelo método de Gauss-Newton. Para a

estimação dos parâmetros dos modelos matemáticos, foi utilizado o programa STATISTICA 7.0®.

Foi formado um conjunto de dados para cada uma das situações estudadas. Para a análise multivariada desses dados, os modelos foram considerados como objetos, e os valores da razão de teor de água, estimados pelos modelos, representaram as variáveis. Empregou-se, assim, a análise de agrupamento para identificar os modelos cujos valores da razão de teor de água estimados fossem os mais próximos aos valores da razão do teor de água experimentais.

A seleção do número ótimo de grupos foi feita conforme os métodos hierárquicos de agrupamento, por meio da mudança de nível dos dendrogramas. A determinação do grupo com os melhores modelos foi feita com o número ótimo de grupos definido pelo índice de Duda e Hart (1973). A medida de dissimilaridade adotada foi a distância euclidiana quadrática, de acordo com a classificação multivariada dos valores da razão de teor de água estimados, com o máximo de similaridade dos valores da razão de teor de água observados. Para a análise multivariada dos dados, foi utilizado o pacote *FactoMineR*, presente no *software R*®.

Para fazer a comparação e a seleção do modelo matemático que melhor representasse a secagem das folhas de *Croton urucurana* B. para as condições estudadas, utilizaram-se a avaliação da qualidade do grau de ajuste dos modelos com base na magnitude do coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), do erro médio relativo (P), do erro médio estimado (SE) e do teste de *Qui*-quadrado (χ^2). Foram empregados também os critérios de informação de Akaike (AIC), que permitem utilizar o princípio da parcimônia na escolha do melhor modelo e critérios de informação de bayesiano (BIC), que considera o grau de parametrização do modelo e, da mesma forma, quanto menor for o valor de BIC, melhor será o ajuste do modelo.

$$R^2_{aj} = R^2 - \left(\frac{p-1}{n-p} \right) (1 - R^2) \quad (16)$$

$$P = \frac{100}{N} \sum \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \quad (17)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (18)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum(Y - \hat{Y})^2}{\text{GLR}} \quad (19)$$

$$\text{AIC} = -2 \cdot \ln L(\hat{\Theta}) + 2p \quad (20)$$

$$\text{BIC} = -2 \cdot \ln L(\hat{\Theta}) + p \log(n) \quad (21)$$

Em que: R^2 : coeficiente de determinação; p : número de parâmetros; n : número de termos; N : número de parâmetros dos modelos; Y : valores observados; \hat{Y} : valores estimados pelos modelos; e GLR: graus de liberdade do modelo.

O modelo da difusão líquida para a forma geométrica de placa plana (lei de Fick), com aproximação de oito termos (Equação 22), foi ajustado aos dados experimentais de secagem das folhas e da periderme de *Croton urucurana* B., de acordo com a seguinte expressão:

$$\text{RX} = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2 \pi^2} \exp \left[-(2n+1)^2 \pi^2 D_{ef} \frac{t}{4L^2} \right] \quad (22)$$

Em que: t : tempo de secagem s; n : número de termos; L : espessura do produto m ($7,676 \times 10^{-4}$ m).

A relação entre o coeficiente de difusão efetivo e a elevação da temperatura do ar de secagem foi descrita pela equação de Arrhenius.

$$D_{ef} = D_0 \exp \left(\frac{-E_a}{RT_{abs}} \right) \quad (23)$$

Em que D_0 : fator pré-exponencial; E_a : energia de ativação, kJ mol⁻¹; R : constante universal dos gases, 8,134 kJ kmol⁻¹ K⁻¹; e T_{abs} : temperatura absoluta, K.

As propriedades termodinâmicas do processo de secagem das folhas de *Croton urucurana* B. foram obtidas pelo método descrito por Jideani & Mpotokwana (2009):

$$\Delta H = E_a - RT \quad (24)$$

$$\Delta S = R \cdot \left(\ln k - \ln \frac{k_B}{h_p} \right) - \ln T_{abs} \quad (25)$$

$$\Delta G = H - T_{abs} \cdot S \quad (26)$$

Em que ΔH = entalpia, J mol⁻¹; ΔS = entropia, J mol⁻¹; ΔG = energia livre de Gibbs, J mol⁻¹; k_B = constante de Boltzmann, $1,38 \times 10^{-23}$ J K⁻¹; e h_p = constante de Planck, $6,626 \times 10^{-34}$ J s⁻¹.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra as razões do teor de água das folhas de *Croton urucurana* B. para as temperaturas do ar de secagem estudadas em função do tempo. Nota-se que o tempo de secagem das folhas de *Croton urucurana* B. decresce com o aumento da temperatura do ar, em razão de uma maior pressão de vapor de água entre a folha e o ar. Os tempos necessários para atingir os teores de água de equilíbrio de 0,134; 0,105; 0,0656 e 0,0601 b.s. foram de 8,25; 7,75; 4,25 e 2 horas, respectivamente para as temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.

Esta tendência também foi observada por diversos pesquisadores estudando o efeito do aumento de temperatura do ar de secagem em folhas de *Cymbopogon citratus* (GOMES et al., 2017; MARTINAZZO et al., 2010), folhas de *Ziziphus joazeiro* (SOUSA et al., 2015) e folhas de *Genipa americana* (SILVA et al., 2015)

De acordo com a comparação dos valores relacionados entres os dados observados durante o processo de secagem e os estimados pelos modelos matemáticos para descrição da cinética de secagem, o número ótimo de grupos para as temperaturas

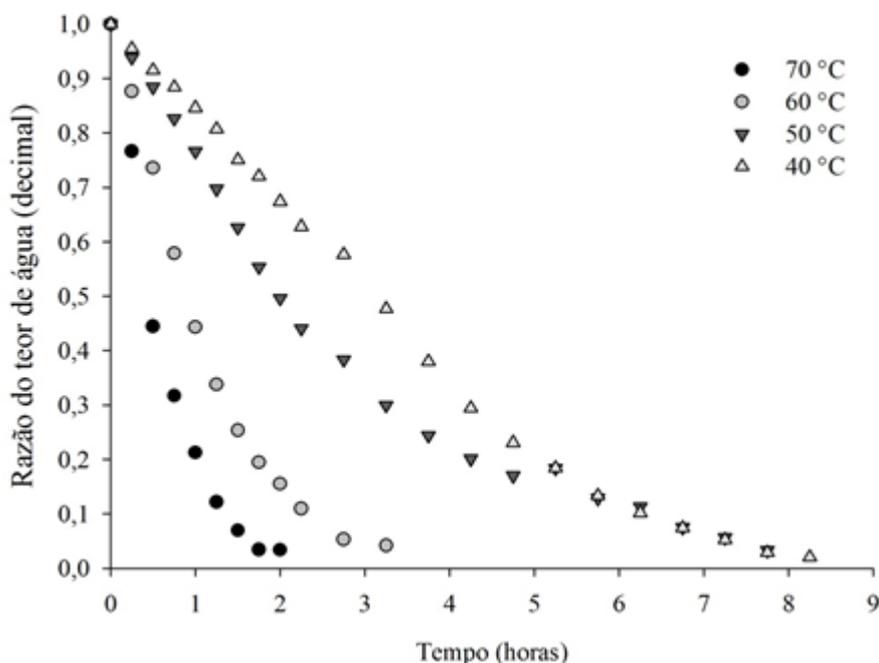


Figura 1. Razão de teor de água das folhas de *Croton urucurana* B. ao longo do tempo de secagem em quatro condições de temperatura, 40, 50, 60 e 70 °C.

de 40, 50, 60 e 70 °C para as folhas de sangra d'água (*Croton urucurana* B.) foi de 5, 8, 6 e 8 grupos, respectivamente.

Os grupos formados pelos modelos ajustados à temperatura do ar de secagem de 40 °C podem ser visualizados na Figura 2. Os modelos de Handerson e Pabis Modificados, Midilli e Cavalcanti Mata, pertencentes ao grupo 5, são os que apresentaram maior semelhança comparativamente aos valores observados.

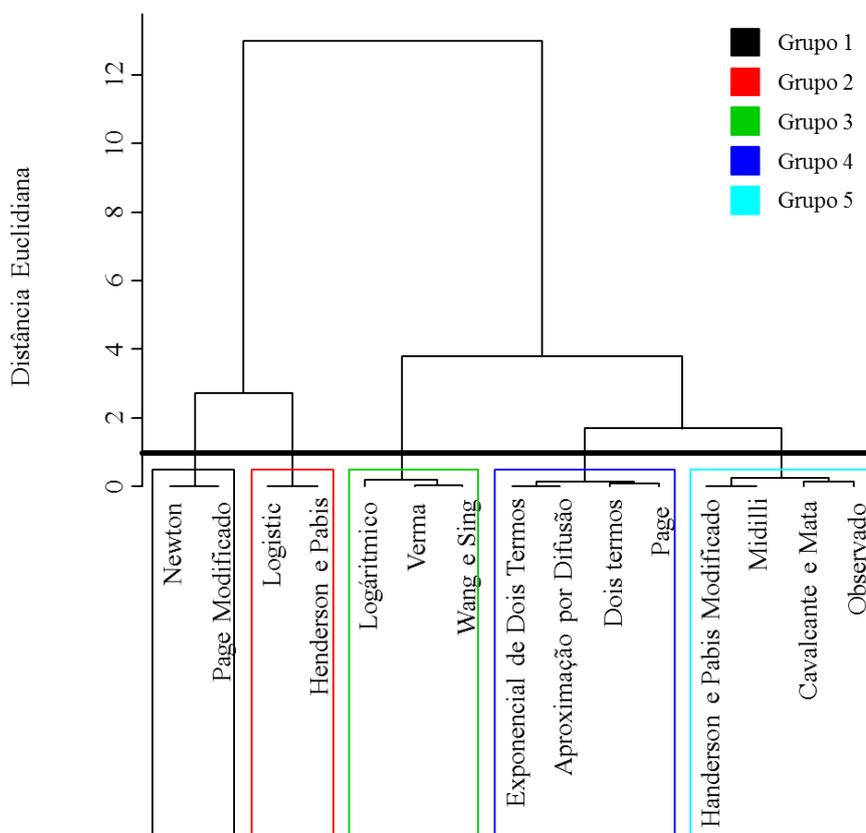


Figura 2. Dendrograma para agrupamento dos modelos ajustados aos dados “Observados e Preditos” pelos modelos de secagem para as folhas de *Croton urucurana* B., secas a temperatura de 40 °C.

Para a temperatura do ar de secagem de 50 °C, foram formados oito grupos, Figura 3, compondo os valores observados um grupo individual (grupo 3), e tendo como vizinhos os grupos que mais se aproximaram dos valores experimentais. Partindo do ponto de corte para composição de grupos, consideram-se os grupos anterior (grupo 2) e posterior (grupo 4) para análise de comparação e seleção de modelos, tendo os modelos

de Cavalcanti Mata, Henderson e Pabis Modificados, Exponencial de Dois Termos e Page apresentado maior semelhança com os valores observados experimentalmente.

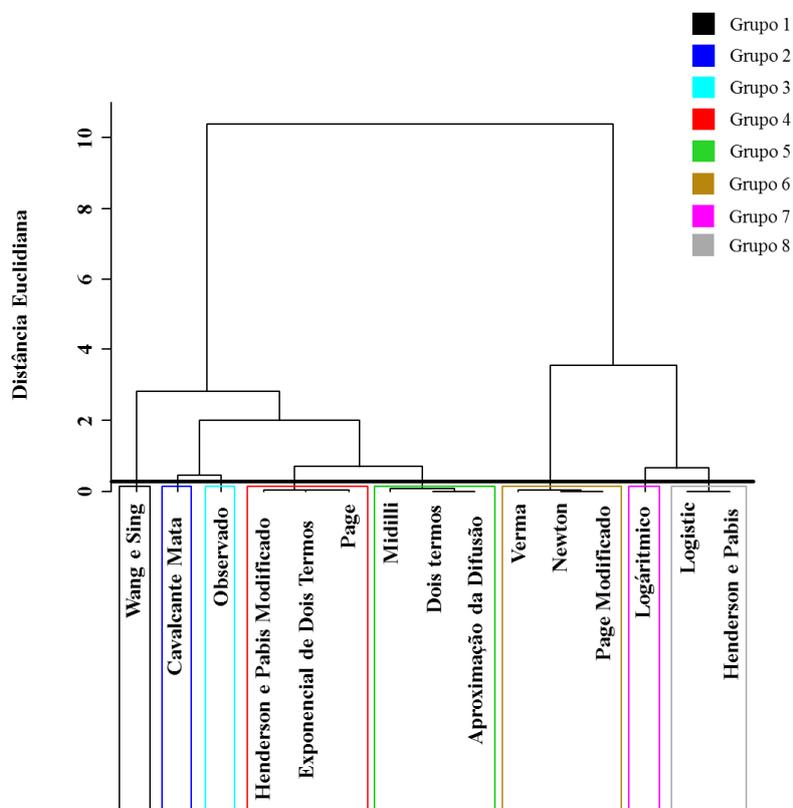


Figura 3. Dendrograma para agrupamento dos modelos ajustados aos dados “Observados e Preditos” pelos modelos de secagem para as folhas de *Croton urucurana* B. secas a temperatura de 50 °C.

Foram formados seis grupos para a temperatura de secagem de 60 °C, Figura 4, em que os modelos pertencentes ao grupo 6 apresentaram maior semelhança com os valores observados, tendo como pertencentes os modelos de Page, Midilli, Exponencial de Dois Termos, Aproximação da Difusão e Cavalcanti Mata.

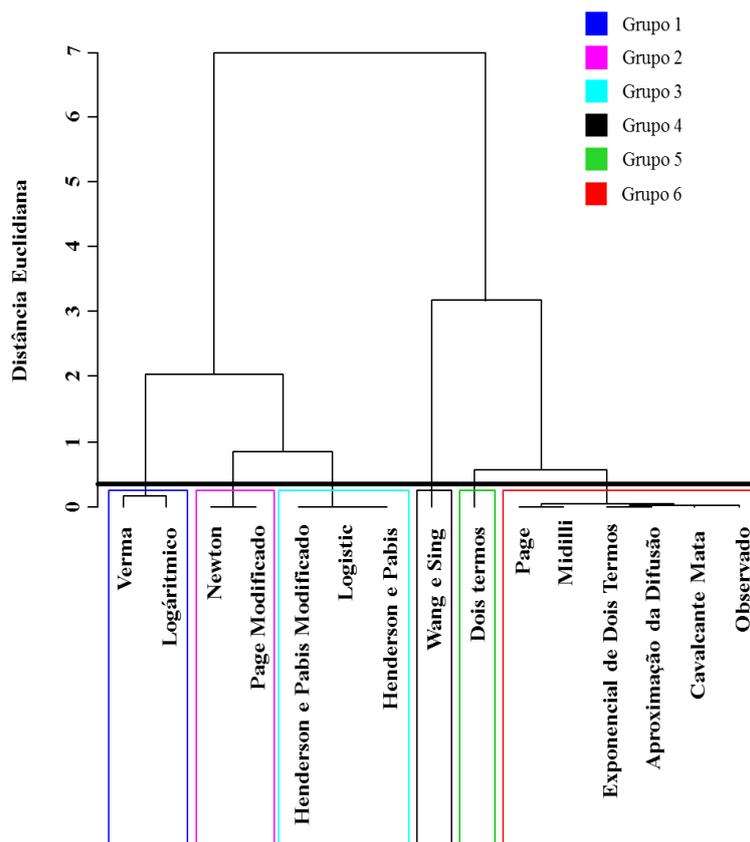


Figura 4. Dendrograma para agrupamento dos modelos ajustados aos dados “Observados e Preditos” pelos modelos de secagem para as folhas de *Croton urucurana* B. secas a temperatura de 60 °C.

Similarmente ao que ocorreu para a temperatura de 50 °C, ocorreu também para a temperatura de 70 °C, em que os valores observados formaram um grupo individual (grupo 7) (Figura 5). Adotou-se o mesmo critério de avaliação, considerando o grupo anterior (grupo 6) e posterior (grupo 8) para fins de análise de comparação e seleção de modelos. Assim, os modelos de Cavalcanti Mata, Verma, Aproximação da Difusão, Dois Termo e Logaritmo apresentaram maior semelhança com os valores observados experimentalmente.

De um total de treze modelos utilizados para descrever a cinética de secagem das folhas de sangra d’água, apenas nove apresentaram semelhança com os dados experimentais. A Tabela 2 apresenta os modelos pertencentes aos grupos com o máximo de similaridade aos dados observados para cada temperatura do ar de secagem.

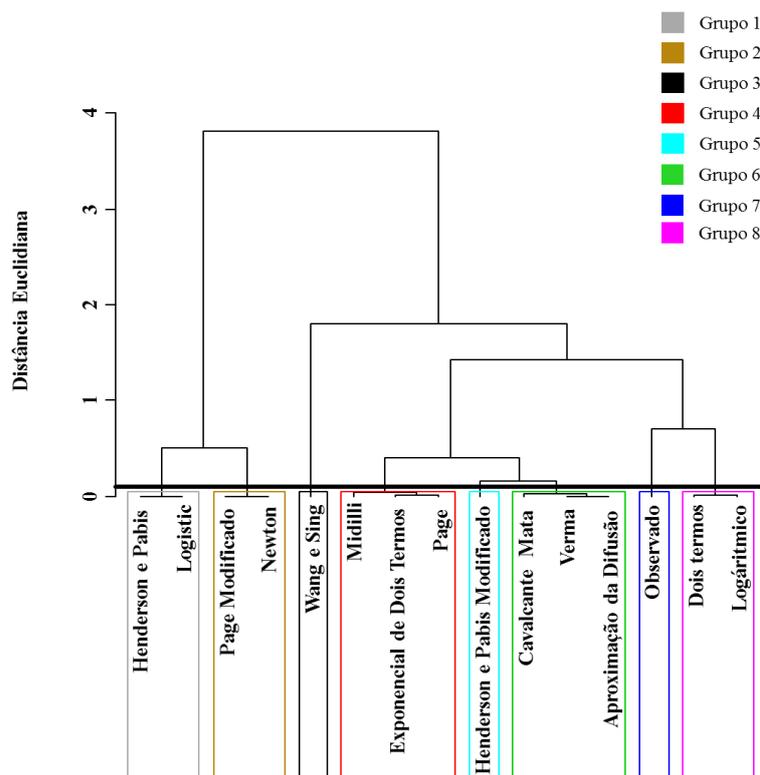


Figura 5. Dendrograma para agrupamento dos modelos ajustados aos dados “Observados e Preditos” pelos modelos de secagem para as folhas de *Croton urucurana* B., secas a temperatura de 70 °C.

Os modelos que apresentaram semelhança com os dados experimentais foram Aproximação da Difusão, Cavalcanti Mata, Dois Termos, Exponencial de Dois Termos, Henderson e Pabis Modificado, Logaritmo, Midilli, Page e Verma. Tais modelos são frequentemente utilizados na literatura para descrição da cinética de secagem produtos vegetais, como, por exemplo: Aproximação da Difusão para grãos de abóbora (DIÓGENES et al., 2013) e sementes de crambe (FARIA et al., 2007); o modelo de Dois Termos para frutos de café (RESENDE; RODRIGUES; et al., 2010); os modelos de Handerson e Pabis Modificado e Midilli para de folhas de aroeira e jenipapo (GONELI et al., 2014; SILVA et al., 2015); o modelo Logaritmo para frutos de palma (SANTOS et al., 2016); os modelos de Midilli e Cavalcanti Mata para grãos de guandu (MARCIA; SILVA, 2014); modelo de Page polpa de jabuticaba (NUNES et al., 2014); e o modelo de Verma para folhas de *Moringa oleifera* (PREMI et al., 2010).

Tabela 2. Modelos agrupados conforme método de similaridade, tendo como referência os valores observados de RX durante o processo de secagem

40 °C	50 °C	60 °C	70 °C
-	-	Aproximação da Difusão	Aproximação da Difusão
Cavalcanti Mata	Cavalcanti Mata	Cavalcanti Mata	Cavalcanti Mata
Henderson e Pabis Modificado	Exponencial de Dois Termos	Exponencial de Dois Termos	Dois Termos
Midilli	-	Midilli	Logaritmo
	Page	Page	Verma

As temperaturas de 60 e 70 °C apresentaram a maior quantidade de modelos com similaridade aos dados observados. Essa situação tem relação com a elevação da temperatura, que reduz a umidade relativa do ambiente de secagem, e a combinação desse fatores acelera o processo de retirada de água dos produtos (COLESTINO, 2010), reduzindo a quantidade de pontos amostrais.

As Tabelas 3 e 4 mostram os avaliadores de qualidade de ajuste, usados para comparar os nove modelos testados com o objetivo de descrever a cinética de secagem das folhas de sangra d'água, aos grupos com o máximo de similaridade aos valores da razão de teor de água observados.

Para todas as temperaturas, os modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais apresentaram coeficientes (R^2) superiores a 99,12% e valores de coeficientes de determinação ajustados (R^2_{aj}) superiores a 99,02%. Estes valores são superiores aos de Sousa et al. (2015), que, determinando a cinética de secagem das folhas de *Ziziphus joazeiro* Mart., encontraram valores de R^2 superiores a 97%, e de Fernandes et al. (2014), que encontraram valores máximos de R^2_{aj} de 98% para seleção de modelos não lineares para curvas de crescimento de frutos de café, constituindo assim uma representação satisfatória do fenômeno em estudo.

Analisando os resultados de SE e χ^2 , apresentados na Tabela 4, é possível observar que todos os nove modelos obtiveram valores próximos a zero para todas as temperaturas. Quanto menores os valores do erro médio estimado e *Qui*-quadrado, menor será a discrepância entre os valores experimentais e os estimados pelos modelos (REIS et al., 2012).

Tabela 3. Avaliadores para determinação da qualidade de ajustes dos valores para o coeficiente de determinação (R^2 , %) e coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), calculados para os nove modelos agrupados conforme métodos da máxima semelhança, tendo como referência os valores observados de RX para representar a cinética de secagem das folhas de *Croton urucurana* B.

Modelos	40 °C		50 °C		60 °C		70 °C	
	R^2	R^2_{aj}	R^2	R^2_{aj}	R^2	R^2_{aj}	R^2	R^2_{aj}
Aproximação da Difusão	99,40	99,34	99,86	99,84	99,96	99,95	99,77	99,69
Cavalcanti e Mata	99,94	99,92	99,94	99,92	99,96	99,94	99,67	99,12
Dois termos	99,49	99,41	99,86	99,84	99,71	99,62	99,38	99,01
Exponencial de Dois Termos	99,24	99,20	99,75	99,74	99,96	99,96	99,61	99,55
Henderson e Pabis Modificado	99,85	99,80	99,74	99,65	98,98	98,34	99,83	99,55
Logarítmico	99,30	99,23	99,61	99,57	99,35	99,23	99,33	99,11
Midilli	99,83	99,80	99,81	99,78	99,94	99,92	99,63	99,41
Page	99,62	99,60	99,77	99,76	99,94	99,94	99,61	99,55
Verma	99,16	99,07	99,12	99,02	99,24	99,10	99,77	99,69

A Tabela 4 apresenta os valores para os índices de informação AIC e BIC e também os valores de erro médio relativo (P%). Os valores de P indicam o desvio dos valores observados em relação à curva estimada pelo modelo, recomendando-se para a seleção de modelos valores inferiores a 10% (MOHAPATRA; RAO, 2005). Nem todos os modelos testados para as quatro temperaturas apresentaram valores de erro médio relativo inferiores a 10%. No entanto, apenas o modelo de Cavalcanti Mata apresentou valores para o erro médio relativo abaixo de 10% para todas as temperaturas, seguido pelo modelo de Midilli, o qual apresentou uma pequena variação para a temperatura de 60 °C, ficando ligeiramente acima do valor estipulado de 10%. Essa situação leva ao questionamento da aceitabilidade da variação do erro médio relativo, uma vez que o modelo de Midilli também pode ser utilizado para explicar o fenômeno de secagem das folhas de sangra d'água.

Tabela 4. Avaliadores para determinação da qualidade de ajustes dos valores para erro médio estimado (SE), *Qui-quadrado* (χ^2), na ordem de 10^{-4} , erro médio relativo (P, %) calculados para os nove modelos agrupados conforme métodos da máxima semelhança, tendo como referência os valores observados de RX para representar a cinética de secagem das folhas de *Croton urucurana* B.

Modelos	40 °C			50 °C			60 °C			70 °C		
	SE	χ^2	P	SE	χ^2	P	SE	χ^2	P	SE	χ^2	P
Aproximação da Difusão	3,9	7,8	21,43	0,8	1,6	6,18	0,2	0,5	12,47	1,8	3,6	9,45
Cavalcanti Mata	0,6	1,1	3,75	0,4	0,8	3,30	0,3	0,6	7,55	5,2	10,4	9,33
Dois termos	3,6	7,1	19,58	0,8	1,7	6,16	2,0	4,1	35,18	5,9	11,7	11,7
Exponencial de Dois Termos	4,7	9,5	25,39	1,3	2,7	6,67	0,2	0,4	10,21	2,6	5,2	8,76
Henderson e Pabis	1,2	2,3	6,95	1,7	3,5	6,50	9,2	18,4	53,87	1,1	5,3	10,0
Modificado												
Logaritmo	4,6	9,1	22,48	2,2	3,7	5,72	3,9	7,8	31,50	5,3	10,6	13,3
Midilli	1,1	2,3	5,51	1,1	2,3	8,09	0,4	0,8	10,60	3,5	7,0	8,39
Page	2,3	4,7	12,29	1,2	2,5	6,36	0,3	0,7	1,59	2,6	5,3	8,66
Verma	5,5	11	25,47	5,0	10	12,21	5,0	10	38,17	1,8	3,6	9,45

Os modelos de Dois Termos e Henderson e Pabis modificado apresentaram comportamento de valores para matriz singular, não convergindo os dados para determinação dos valores de AIC e BIC. De acordo com os critérios de seleção apresentados na Tabela 5, os valores estimados pelos critérios de informação de AIC e BIC foram menores para o modelo de Cavalcanti Mata, seguidos pelos modelos de Midilli e Page, que apresentaram estimativas semelhantes.

Tabela 5. Critérios de informação de AIC e BIC calculados para os nove modelos agrupados conforme métodos da máxima semelhança, tendo como referência os valores observados de RX para representar a cinética de secagem das folhas de *Croton urucurana* B.

Modelos	40 °C		50 °C		60 °C		70 °C	
	AIC	BIC	AIC	BIC	AIC	BIC	AIC	BIC
Aproximação da Difusão	-84,45	-80,08	-91,53	-87,55	-53,10	-50,55	-31,32	-30,53
Cavalcanti Mata	-137,83	-130,20	-124,76	-117,79	-96,24	-91,77	-96,24	-91,77
Dois termos	-	-	-	-	-	-	-	-
Exponencial de Dois Termos	-75,14	-71,86	-83,27	-80,28	-47,26	-45,35	-33,60	-33,01
Henderson e Pabis Modificado	-	-	-	-	-	-	-	-
Logarítmico	-86,81	-82,44	-92,16	-88,17	-54,62	-52,06	-54,62	-52,06
Midilli	-116,49	-111,03	-110,05	-105,07	-87,63	-84,44	-87,63	-84,44
Page	-102,34	-99,06	-104,70	-101,71	-90,52	-88,61	-38,68	-38,09
Verma	-75,71	-72,44	-83,28	-80,29	-47,27	-45,35	-31,21	-30,62

Para fins de identificação do melhor ajuste, foi selecionado o modelo que apresentou menores valores de AIC e BIC. Entre todos os modelos estudados, o que apresentou melhores resultados com base nos critérios estatísticos e pelo ajuste mostrado entre os valores experimentais e estimados foi o modelo de Cavalcanti Mata. Além disso, segundo os critérios de AIC e BIC, é o mais indicado para descrever a cinética de secagem das folhas de *Croton urucurana* B. nas condições de temperaturas estudadas (Figura 6). Os critérios de informação de AIC e BIC também foram utilizados para selecionar os modelos que melhor descrevessem a cinética da secagem de frutos de banana prata (RIBEIRO et al., 2011) e da secagem de polpa de jabuticaba (RIBEIRO, 2015), tendo sido encontrados resultados semelhantes aos deste estudo.

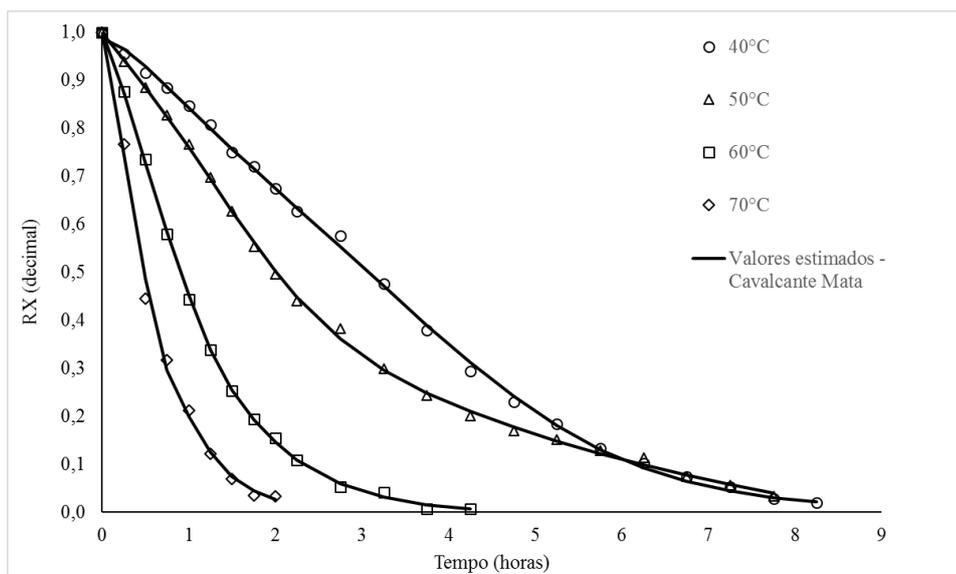


Figura 6. Valores dos teores de água experimentais e estimados pelo modelo de Cavalcanti Mata para a secagem das folhas de *Croton urucurana* B. nas diversas condições de temperatura

A Tabela 6 mostra os parâmetros estimados por meio do modelo de Cavalcanti Mata, ajustados aos dados experimentais para as diferentes temperaturas do ar de secagem das folhas de *Croton urucurana* B. Observa-se incremento dos valores de “ k_1 ” do modelo de Cavalcanti Mata com as alterações das temperaturas do ar de secagem, sendo que, para os demais parâmetros, não houve tendência clara de variação em função da temperatura. A constante de secagem “ k_1 ” pode ser empregada como uma aproximação para caracterizar o efeito da temperatura em relação à difusividade efetiva no período decrescente da taxa de secagem, sendo que a difusividade líquida controla o processo (MARTINAZZO et al., 2010). O incremento do coeficiente “ k_1 ” com o aumento da temperatura indica que a viscosidade da água se reduz e a água encontrada no interior das folhas consegue migrar com maior facilidade, quando comparada a menores temperaturas de secagem. Sendo assim, quanto maior a magnitude do parâmetro “ k_1 ”, maior a difusividade efetiva no processo de secagem (MARTINS et al., 2015).

Tabela 6. Parâmetros do modelo Cavalcanti Mata ajustados para as temperaturas de secagem das folhas de *Croton urucurana* B.

Parâmetros	Temperatura (°C)			
	40	50	60	70
a	-0,2653**	0,2900**	0,0643 ^{ns}	-0,0400**
k_1	0,1652**	0,2320**	0,7973**	1,6435**
n_1	2,4233**	2,2213**	4,0458 ^{ns}	175,1356**
a_2	1,2651**	0,8690**	0,9410**	1,0386**
n_2	1,4740**	0,9038**	1,2148**	1,2497**
a_3	-0,0096 ^{ns}	-0,1589 ^{ns}	-0,0020 ^{ns}	0,0062**

**Significativo a 1% pelo teste t. *Significativo a 5% pelo teste t. ^{ns}Não significativo pelo teste t.

A Figura 7a mostra os valores da difusividade efetiva obtidos para as diferentes temperaturas do ar de secagem para as folhas de *Croton urucurana* B. Observa-se comportamento linear crescente em que os valores do coeficiente de difusão efetivo aumentaram em resposta à elevação da temperatura do ar de secagem. Os valores variaram de $0,442 \times 10^{-11}$, $0,576 \times 10^{-11}$, $1,47 \times 10^{-11}$ e $2,76 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, considerando as temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C, respectivamente, corroborando os resultados relatados por Goneli et al. (2014) estudando erva baleeira, e Premi et al. (2010), que avaliaram folhas de moringa.

Características da água, como o seu grande calor específico, facilitam a absorção de calor. Assim, quando ocorre elevação na temperatura do ar de secagem, aumenta-se também o nível de vibração das moléculas de água, diminuindo sua viscosidade, o que resulta em alterações na difusão da água nos capilares das folhas e favorece a movimentação deste fluido no produto (ALVES & RODOVALHO, 2016; GONELI, 2008).

A Figura 7b mostra os valores de $\ln(D)$, em função do inverso da temperatura absoluta (K^{-1}), obtidos para as folhas de *Croton urucurana* B. A dependência do coeficiente de difusão efetivo, com relação à temperatura do ar de secagem, tem sido satisfatoriamente descrita pela equação de Arrhenius (SILVA et al., 2016; CORRÊA et al., 2006; FILHO et al., 2015; MARTINAZZO et al., 2007; RESENDE et al., 2008). Como explicado por Prates et al. (2012), a inclinação da curva da representação de Arrhenius fornece a relação E_a/R^{-1} , enquanto sua interseção com o eixo das ordenadas indica o valor de D_0 , que é um fator pré-exponencial.

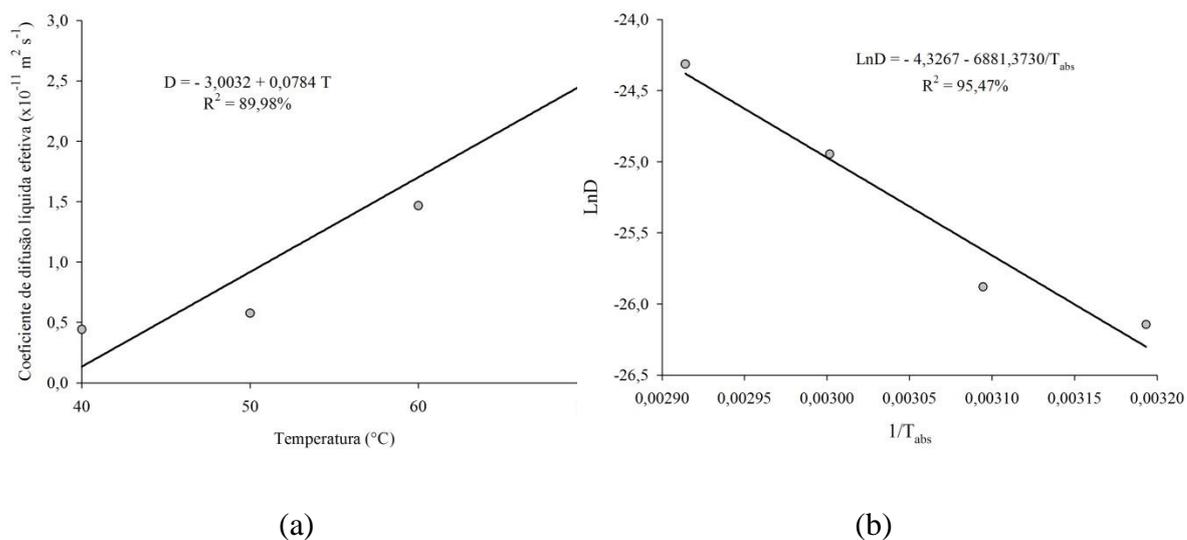


Figura 7. Coeficiente de difusão efetivo (a) e a representação de Arrhenius para o coeficiente de difusão efetivo (b) obtido para a secagem das folhas de *Croton urucurana* B.

Pela linearização dos valores do coeficiente de difusão efetivo na representação de Arrhenius, obtêm-se a relação $E_a R^{-1}$ e o valor de D_0 . A energia de ativação para a difusão líquida no processo de secagem das folhas de *Croton urucurana* B., para as quatro temperaturas estudadas (40, 50, 60 e 70 $^{\circ}\text{C}$), foi de 57,21 kJ mol^{-1} . Estes valores foram similares aos obtidos durante a secagem de *Cymbopogon citratus* (GOMES et al., 2017) e menores que os encontrados para a secagem de folhas de *Genipa americana* e aroeira, que apresentaram energia de ativação de 63,47 kJ mol^{-1} e 74,96 kJ mol^{-1} , respectivamente (SILVA et al., 2015; GONELI et al., 2014). Tais valores estabelecem relação com a composição da matriz das folhas, teores de água iniciais e espessura e formato, que irão determinar a energia necessária para que ocorra agitação das moléculas e, assim, desencadear o processo difusivo.

A difusividade depende fortemente da temperatura e, muitas vezes, muito fortemente do teor de água, sendo que, em materiais porosos, a fração vazia afeta significativamente a difusividade. A relação entre a difusividade e a dependência do teor de água introduzida na equação de Arrhenius tem como princípio a energia de ativação ou o fator de Arrhenius como uma função empírica da umidade (MARINOS-KOURIS; MAROULIS, 2015).

Considerando que a energia de ativação e a difusividade são inversamente proporcionais, quanto menor a energia de ativação, maior será a difusividade da água

no produto. Sendo a energia de ativação a quantidade calor necessária para que uma barreira, como os constituintes da matriz do produto, seja ultrapassada, ela desencadeia assim o processo de difusão (KASHANINEJAD et al., 2007).

Em relação às propriedades termodinâmicas, observa-se que os valores de entalpia diminuem com o incremento de temperatura, Tabela 7, indicando ser necessária uma quantidade menor de energia para que a secagem ocorra em temperaturas mais elevadas. A variação de entropia pode ser usada na interpretação de processos de dissolução, cristalização e inchamento, que ocorrem em produtos secos durante a adsorção de água; e a variação de entalpia indica até que grau a interação água-alimento é maior que a interação entre as próprias moléculas de água.

Observa-se que ocorre redução dos valores da entropia à medida que ocorre o aumento da temperatura do ar de secagem. Comportamento este já esperado, uma vez que a diminuição da temperatura acarreta menor excitação das moléculas de água, resultando em aumento da ordem do sistema água-produto (ALVES & RODOVALHO, 2016; MARTINS et al., 2015; CORRÊA et al., 2010).

A entropia é uma grandeza termodinâmica associada ao grau de desordem, cujos valores se alteram durante o processo natural em um sistema isolado, e os valores negativos de entropia podem ser atribuídos à existência de adsorção química e/ou a modificações estruturais do adsorvente. O processo de sorção é controlado pela entropia, e a sorção da água ocorre nos microporos, que funcionam como barreiras. Por outro lado, se os mecanismos entálpicos controlam a sorção, as ligações da água e da matriz sólida são devidas às interações hidrofóbicas e hidrofílicas (YOGENDRARAJAH et al., 2015; GONELI et al., 2010; CORRÊA et al., 2010).

Os valores da energia livre de Gibbs (ΔG) aumentaram com a elevação da temperatura, fato que indica processo de secagem não espontâneo, necessitando da adição de uma energia proveniente do ar de secagem em que o produto esteve envolvido, para que ocorresse a remoção de água.

Tabela 7. Valores de entalpia (ΔH , J mol⁻¹), entropia (ΔS , J mol⁻¹ K⁻¹) e energia livre de Gibbs (ΔG , J mol⁻¹) para diferentes condições de ar de secagem das folhas de *Croton urucurana* B.

Temperatura (°C)	ΔH	ΔS	ΔG
40	54608,4	-233,14	127615
50	54525,3	-233,40	129948
60	54442,2	-233,65	132283
70	54359,0	-233,90	134621

4. CONCLUSÃO

O modelo matemático proposto por Cavalcanti Mata, entre aqueles que foram testados, é o que apresenta melhor ajuste aos dados experimentais da cinética de secagem das folhas de *C. urucurana* Baill.

A aplicação da técnica de agrupamento para seleção de modelos é uma ferramenta de grande aplicabilidade para a secagem de produtos vegetais, e os critérios de informação de AIC e BIC auxiliam muito na tomada de decisão.

O aumento da temperatura do ar de secagem promove redução no tempo necessário para a remoção de água das folhas de *C. urucurana* Baill. durante a secagem.

Para as temperaturas estudadas, houve aumento do coeficiente de difusão efetivo, apresentando energia de ativação para a difusão líquida de $57,21 \text{ kJ mol}^{-1}$, representando este valor a energia necessária para o início do processo de secagem e a dificuldade para as moléculas de água romperem as barreiras de constituição da estrutura das folhas.

A relação da interação entre as moléculas de água e os constituintes das folhas é dada pela redução dos valores da entalpia e da entropia e pelo aumento da energia livre de Gibbs, indicando que houve redução na densidade da água presente nas folhas, contribuindo para o processo de secagem.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A. L. D. GONELI *et al.* Water Desorption and Thermodynamic Properties of Okra Seeds. *Transactions of the ASABE*, v. 53, n. 1, p. 191–197, 2010. Disponível em: <<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=22616397>>.

ALVES, J. J. L.; RODOVALHO, R. S. Cinética de Secagem em Camada de Espuma da Polpa de Abacate cv “Quintal” (*Persea americana* Mill). *Revista Agrotecnologia - Agrotec*, v. 7, n. 1, p. 86–98, 30 jun. 2016. Disponível em: <<http://www.bibliotekevirtual.org/index.php/2013-02-07-03-02-35/2013-02-07-03-03-11/2036-agrotec/v07n01/20971-cinetica-de-secagem-em-camada-de-espuma-da-polpa-de-abacate-cv-quintal-persea-americana-mill.html>>.

ANDRADE, E. T. DE *et al.* Cinética de secagem e qualidade de sementes de feijão. *Engevista*, v. 8, n. 2, p. 83–95, 2010. Disponível em: <<http://www.uff.br/engevista/seer/index.php/engevista/article/viewArticle/195>>.

BERBERT, P. A. *et al.* Simulation of coffee drying in a fixed bed with periodic airflow reversal. *Journal of Agricultural Engineering Research*, v. 60, p. 167–173, 1995.

CARVALHO, S. *et al.* Mortalidade e comprometimento do desenvolvimento de *Zabrotes subfasciatus* Boh. (Coleoptera : Chrysomelidae), induzido pelo extrato de sangra d’água *Croton urucurana* Baill (Euphorbiaceae). *Comunicata Scientiae*, v. 5, n. 3, p. 331–338, 2014.

CAVALCANTE, J. DE A. *Análise experimental da cinética de secagem da alga marinha Sargassum sp.* 2003. 191 f. Universidade Estadual de Campinas, 2003.

COLESTINO, S. M. C. *Princípios de secagem de alimentos.* [S.l: s.n.], 2010.

CORRÊA, P. C. *et al.* Determinação e modelagem das propriedades físicas e da contração volumétrica do trigo, durante a secagem. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 10, n. 3, p. 665–670, 2006.

CORRÊA, P. C. *et al.* Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. *Revista Ceres*, v. 57, n. 5, p. 595–601, out. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-737X2010000500005&lng=pt&nrm=iso&tlng=en>.

DIAS, A. *Seleção multivariada e identidade de modelos não lineares para o crescimento e acúmulo de nutrientes em frutos de mangueira.* 2014. 138 f. Universidade Federal de Lavras, 2014.

DIÓGENES, A. D. M. G. *et al.* Cinética de secagem de grãos de abóbora. *Revista Caatinga*, v. 26, n. 1, p. 71–80, 2013.

EMILIANO, P. C. *Critérios de informação: como eles se comportam em diferentes modelos.* 2013. 193 f. Universidade Federal de Lavras, 2013.

FARIA, R. Q. DE *et al.* Cinética de secagem de sementes de crambe. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 5, p. 573–583, 2007.

FERNANDES, T. J. *et al.* Seleção de modelos não lineares para a descrição das curvas de crescimento do fruto do cafeeiro. *Coffee Science*, v. 9, n. 2, p. 207–215, 2014.

FILHO, L. C. C. *et al.* Cinética de secagem, contração volumétrica e análise da difusão líquida do figo (*Ficus carica* L.). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, n. 8, p. 797–802, 2015.

FRANCO, E. A. P.; BARROS, R. F. M. Uso e diversidade de plantas medicinais no Quilombo Olho D'água dos Pires, Esperantina, Piauí. *Revista Brasileira de P*, v. 8, n. 3, p. 78–88, 2004.

GOMES, N. H. F. *et al.* Cinética de secagem de folhas de *Cymbopogon citratus*. *Engvista*, v. 19, n. 2, p. 328–338, 2017.

GONELI, A. L. D. *et al.* Modelagem matemática e difusividade efetiva de folhas de aroeira durante a secagem. *Pesquisa agropecuária tropical*, v. 44, n. 1, p. 56–64, 2014.

GONELI, A. L. D. *VARIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS E DA QUALIDADE DA MAMONA (Ricinus communis L.) DURANTE A SECAGEM E O ARMAZENAMENTO*. 2008. 186 f. Universidade Federal de Viçosa, 2008.

KASHANINEJAD, M. *et al.* Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. *Journal of Food Engineering*, v. 78, n. 1, p. 98–108, jan. 2007. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0260877405006424>>.

KOCHE, D. *et al.* PHYTOCHEMICAL SCREENING OF EIGHT TRADITIONALLY USED ETHNOMEDICINAL PLANTS FROM AKOLA DISTRICT (MS) INDIA. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*, v. 1, n. 4, p. B-253-B-256, 2010.

MACIEL, M. A. M. *et al.* Plantas Medicinais: A necessidade de estudos multidisciplinares. *Química Nova*, v. 25, n. 3, p. 429–438, 2002.

MARCIA, L.; SILVA, D. M. Modelos de predição da cinética de secagem dos grãos de guandu. p. 310–318, 2014.

MAROULIS, Z. B. *et al.* MOISTURE DIFFUSIVITY DATA COMPILATION FOR FOODSTUFFS: EFFECT OF MATERIAL MOISTURE CONTENT AND TEMPERATURE. *International Journal of Food Properties*, v. 4, n. 2, p. 225–237, 31 jul. 2001. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1081/JFP-100105189>>.

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. 3, p. 301–306, jun. 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662007000300009&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>.

MARTINAZZO, A. P.; MELO, E. C.; SANTOS, R. H. S. Modelagem matemática e parâmetros qualitativos da secagem de folhas de capim-limão [*Cymbopogon citratus* (

- DC.) Stapf J. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, v. 12, n. 4, p. 488–498, 2010.
- MARTINS, E. A. S. *et al.* Cinética de secagem de folhas de timbó (*Serjania marginata* Casar). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, n. 3, p. 238–244, mar. 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662015000300238&lng=pt&nrm=iso&tlng=en>.
- MAZEROLLE, M. J. *Mouvements et reproduction des amphibiens en tourbières perturbées*. 2004. 190 f. l'Université Laval, 2004. Disponível em: <<http://www.theses.ulaval.ca/cocoon/meta/2004/21842.xml>>.
- MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. *Journal of Food Engineering*, v. 66, n. 4, p. 513–518, 2005.
- MORAIS, S. J. DA S. *et al.* Modelagem matemática das curvas de secagem e coeficiente de difusão de grãos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). *Revista Ciência Agronômica*, v. 44, n. 3, p. 455–463, 2013.
- NUNES, J. S. *et al.* Descrição cinética de secagem da polpa de jabuticaba usando modelos empíricos. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 9, n. 83, p. 1–5, 2014.
- PREMI, M. *et al.* Kinetics of drumstick leaves (*Moringa oleifera*) during convective drying. *African Journal of Plant Science*, v. 4, n. 10, p. 391–400, 2010.
- R Core Team (2017). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- RAO, V. S. *et al.* Dragon's blood from *Croton urucurana* (Baill.) attenuates visceral nociception in mice. *Journal of Ethnopharmacology*, v. 113, n. 2, p. 357–360, 2007.
- RESENDE, O. *et al.* Cinética da secagem de clones de café (*Coffea canephora* Pierre) em terreiro de chão batido. *Acta Amazonica*, v. 40, n. 2, p. 247–255, 2010.
- RESENDE, O. *et al.* Modelagem matemática do processo de secagem de duas variedades de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Brasileira de Productos Agroindustriais*, v. 10, n. 1, p. 17–26, 2008.
- RIBEIRO, T. D. *Modelos de regressão não linear na descrição da cinética de secagem de polpa de jabuticaba*. 2015. 95 f. Universidade Federal de Lavras, 2015.
- RIBEIRO, T. D.; MUNIZ, J. A.; BORGES, S. Comparação de modelos não lineares na descrição da cinética de secagem de frutos de Banana Prata, por convecção natural. v. 3, n. 2, p. 1–5, 2011.
- SANTOS, A. E. *et al.* Modelagem matemática para a descrição da cinética de secagem do fruto da palma (*Opuntia ficus indica*). *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 11, n. 1, p. 1, 13 mar. 2016. Disponível em: <<http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/3897>>.
- SILVA, L. A. *et al.* Cinética de secagem e difusividade efetiva em folhas de jenipapo

(*Genipa americana* L.). *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, v. 17, n. 4 suppl 2, p. 953–963, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-05722015000600953&lng=pt&nrm=iso&tlng=en>.

SILVA, H. W. DA *et al.* Kinetics and thermodynamic properties related to the drying of “Cabacinha” pepper fruits. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 20, n. 2, p. 174–180, fev. 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662016000200174&lng=en&nrm=iso&tlng=en>.

SOLDERA, C. C.; ZANELLA, G. N.; FRASSON, A. P. Z. Avaliação da atividade antibacteriana de *Croton urucurana*. *Revista Contexto Saúde*, v. 10, n. 19, p. 25–31, 2010.

SOUSA, F. . *et al.* Predição de modelos sobre a cinética de secagem de folhas de *Ziziphus joazeiro* Mart. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, v. 17, n. 2, p. 195–200, jun. 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-05722015000200195&lng=pt&tlng=pt>.

SOUZA, C. D. DE; FELFILI, J. M. Uso de plantas medicinais na região de Alto Paraíso de Goiás , GO , Brasil. *Acta Botânica Brasileira*, v. 20, n. 1, p. 135–142, 2006.

TABALDI, L. A. *et al.* Cover crops and their effects on the biomass yield of *Serjania marginata* plants. *Ciência Rural*, v. 42, n. 4, p. 614–620, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782012000400006&script=sci_arttext>.

VARANIS, L. F. M.; SILVA, N. A. M. DA; TEIXEIRA, A. DE M. Seleção de modelos não lineares para estimação da curva de lactação de vacas mestiças pelo método de análise de agrupamento. *Caderno de Ciências Agrárias*, v. 8, n. 3, p. 28–37, 2016.

VERDE, G. M. V.; PAULA, J. R.; CANEIRO, D. M. Levantamento etnobotânico das plantas medicinais do cerrado utilizadas pela população de Mossâmedes (GO). *Revista Brasileira de Farmacognosia*, v. 13, n. 0102–695X, p. 64–66, 2003.

YOGENDRARAJAH, P. *et al.* Moisture sorption isotherms and thermodynamic properties of whole black peppercorns (*Piper nigrum* L.). *LWT - Food Science and Technology*, v. 64, n. 1, p. 177–188, nov. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2015.05.045>>.

CAPÍTULO II

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE SECAGEM NA IDENTIFICAÇÃO, QUANTIFICAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS E BIOATIVIDADES EM FOLHAS, GALHOS E PERIDERME DE SANGRA D'ÁGUA (*Croton urucurana* Baill.)

RESUMO: A secagem de plantas medicinais (tecnologia física de processamento térmico) é um processo crucial que visa à manutenção da qualidade pós-colheita, bem como à conservação de compostos bioativos com propriedades fitoterapêuticas. A espécie *Croton urucurana* Baill, conhecida popularmente no Brasil como sangra d'água, é principalmente utilizada pelas suas propriedades anti-hemorragicas, anti-inflamatórias, antissépticas, cicatrizantes e pela sua ação antifúngica e entomológica. Objetivou-se, com este trabalho, verificar a influência da temperatura de secagem (40, 50, 60 e 70 °C) no perfil fenólico (obtido por HPLC-DAD-ESI/MS) de folhas, caules e periderme da espécie anteriormente referida; bem como nas propriedades antioxidantes, antimicrobianas e citotóxicas dos seus extratos hidroetanólicos e aquosos (obtidos por decocção). Relativamente aos compostos fenólicos, o perfil foi muito semelhante em todas as amostras, havendo somente diferenças na quantidade de cada um dos compostos. Foram identificados flavan-3-óis, flavonas, flavonóis e ácidos fenólicos (o ácido gálico foi somente detectado nos caules). A maior atividade antioxidante foi observada nos extratos hidroetanólicos de folhas e caules secos a 50 °C e de periderme seca a 40 °C. Todas as amostras revelaram atividade antifúngica e citotóxica, sendo que os GI₅₀ mais baixos foram também obtidos nos extratos hidroetanólicos e em temperaturas de secagem mais baixas (40 e 50°C). Com estes resultados, podemos concluir que altas temperaturas de secagem influenciam o conteúdo de compostos fenólicos e as propriedades bioativas de sangra d'água. A adequabilidade das

temperaturas de secagem para o processamento de plantas medicinais é de extrema importância para a indústria de forma a preservar suas propriedades bioativas.

PALAVRAS-CHAVE: Citotóxico; Compostos Fenólicos; Cromatografia.

**INFLUENCE OF DRYING TEMPERATURE ON IDENTIFICATION AND
QUANTIFICATION OF PHENOLIC COMPOUNDS AND BIOACTIVITIES IN
LEAVES, BRANCHES, AND PERIDERME OF SANGRA D'ÁGUA (*Croton
urucurana* Baill.)**

ABSTRACT: Drying medicinal plants (physical technology of thermal processing) is a crucial process that aims at maintaining post-harvest quality and preservation of bioactive compounds with phytotherapeutic properties. *Croton urucurana* Baill., popularly known in Brazil as Sangra d'água, is mainly used due to its anti-hemorrhagic, anti-inflammatory, antiseptic, healing properties and its antifungal and entomological action. This study aimed to verify the influence of drying temperature (40, 50, 60, and 70 °C) on the phenolic profile (obtained by HPLC-DAD-ESI/MS) of leaves, stems, and periderms of species in question, and on the antioxidant, antimicrobial, and cytotoxic properties of its hydroethanolic and aqueous extracts (obtained by decoction). Regarding the phenolic compounds, the profile was very similar in every sample, differing only in the amount of each of the compounds. Flavan-3-ols, flavones, flavonols, and phenolic acids were identified (gallic acid was only detected in the stems). The highest antioxidant activity was observed in the hydroethanolic extracts of leaves and stems dried at 50 °C and dry periderm at 40 °C. Every sample showed antifungal and cytotoxic activity, and the lowest GI_{50s} were also obtained in hydroethanolic extracts and at lower drying temperatures (40 and 50 °C). With these results, it can be concluded that high drying temperatures affect the phenolic compounds content and the bioactive properties of Sangra D'água. The drying conditions suitability for the medicinal plants processing is extremely important for industry to preserve its bioactive properties.

KEYWORDS: Cytotoxic. Phenolic Compounds. Chromatography.

1. INTRODUÇÃO

Ao longo da história, o homem usou vegetais para uma variedade de propósitos, principalmente relacionados com alimentos e aplicações medicinais (MACIEL et al., 2002; VERDE et al., 2003; FRANCO; BARROS, 2004). O uso etnofarmacológico de plantas com base em sua eficácia para tratar ou prevenir diferentes doenças suscita o interesse da comunidade científica em entender melhor quais compostos proporcionam esses efeitos fisiológicos às plantas, bem como preservar esses recursos naturais (MACIEL et al., 2002; SOUZA; FELFILI, 2006).

Apesar desta biodiversidade vantajosa, a exploração de plantas medicinais pode ser seriamente limitada por extrações ineficazes, pela falta de informações completas sobre os compostos bioativos presentes nas plantas ou simplesmente pelos métodos inadequados de secagem e armazenamento (Franco & Barros, 2004).

Assim, para manter a qualidade pós-colheita, preservando os compostos que serão utilizados em produtos fitoterápicos, é essencial aplicar processos de secagem efetivos, imediatamente após a colheita (GONELI et al., 2014), uma vez que otimizar os processos de secagem e armazenamento, visando a uma adequada qualidade pós-colheita, é obrigatório para manter todas as propriedades químicas encontradas em plantas frescas. Além disso, as indústrias não têm estruturas adequadas para usar plantas frescas em escala industrial (TABALDI et al., 2012; SOUSA et al., 2015).

Quando utilizados para propósitos fitoterapêuticos, os tecidos vegetais com maior potencial são geralmente folhas, ramos e periderme, pela sua maior quantidade de compostos bioativos (KOCHE et al., 2010).

A espécie *C. urucurana* tem sido relatada por seus efeitos potencialmente curativos sobre úlceras estomacais (WOLFF CORDEIRO et al., 2012; CORDEIRO et al., 2016), ação anti-inflamatória (CORDEIRO et al., 2016), ação antimicrobiana (PERES et al., 1997), possível uso para o tratamento do HIV (RAVANELLI et al., 2016), além do desempenho satisfatório no teste antitumoral.

C. urucurana é caracterizada como uma árvore alta (10-12 m), com seiva vermelha escura, encontrada em regiões de clima tropical como Paraguai, Uruguai, Argentina e Brasil. É exclusivamente (ou predominantemente) encontrada entre a

vegetação ripícola (interface entre terra e rio ou corrente)(RAO et al., 2007). Sua seiva, em tons vermelhos, exibe uma grande variedade de metabólitos produzidos nas vias de ácido chiquímico e acetato, como exemplificado por diferentes diterpenoides. De fato, o gênero *Croton* é uma das fontes mais ricas de clerodano (especialmente na periderme) e diterpenos de clerodano, como, por exemplo, metil-3-oxo-12-epibarbascoate, sonderianin e 15,16-epoxiclorodino-3,13 (16), 14 (15) -trien-2-one. Outros compostos importantes incluem ácido acetilaleuritólico, estigmasterol, campesterol, β -sitosterol, β -sitosterol-3-O-glucósido, catequina e galocatequina (PIZZOLATTI et al., 2013; CARVALHO et al., 2014).

No entanto, existe limitação de estudos sobre a influência da temperatura de secagem nas propriedades bioativas e na composição fenólica de *C. urucurana*. Por conseguinte, o objetivo principal neste trabalho foi caracterizar os compostos fenólicos individuais e as atividades antioxidantes, antifúngicas, antibacterianas e antitumorais relacionadas em extratos hidroetanólicos e decocções de folhas, ramos e periderme (casca) de *C. urucurana*, previamente secas em diferentes temperaturas (40, 50, 60 e 70 °C).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Padrões e reagentes

Acetonitrilo de grau HPLC (99,9%) foi adquirido da Fisher Scientific (Lisboa, Portugal). O ácido fórmico foi obtido de Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, EUA). Os padrões fenológicos foram adquiridos da Extrasynthèse (Genay, França). Todos os outros reagentes laboratoriais gerais foram adquiridos da Panreac Química S.L.U. (Barcelona, Espanha). A água foi tratada em um sistema de purificação de água Milli-Q (TGI Pure Water Systems, EUA).

2.2. Material vegetal e cinética de secagem

Foram utilizados como matéria-prima folhas, ramos e a periderme de *C. urucurana*, coletados das 7:30 da manhã às 8 da manhã de janeiro de 2017, na área rural

de Santo Antônio da Barra, Goiás, Brasil. As amostras foram registradas no Herbário do Instituto Federal de Goiano - Campus Rio Verde, sob o número 602.

O processo de secagem foi conduzido no Laboratório Pós-Colheita de Produtos Vegetais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde, GO, com operações de desfolha e seleção. A secagem foi feita em estufa de circulação de ar forçada, modelo Marconi MA35, em diferentes temperaturas do ar de secagem: 40, 50, 60 e 70 °C. Todas as amostras foram trituradas em multiprocessador, reduzidas a um pó seco fino e misturadas para obter amostras homogeneizadas.

O processo de separação, identificação, quantificação de compostos bem como os bioensaios foram feitos na Escola Superior Agrária (ESA) do Instituto Politécnico de Bragança, Bragança – Portugal.

2.3. Extração hidroetanólica e preparação de decocção

Para preparar os extratos hidroetanólicos, 1 g de cada uma das amostras foi submetido à extração com uma mistura etanol / água (80:20, v/v; 30 mL) a 25 °C e 150 rpm durante 1 h, seguido de filtração através de um filtro de papel Whatman n° 4. Posteriormente, o resíduo foi extraído com uma porção adicional da mistura hidroetanólica, e os extratos combinados foram evaporados sob pressão reduzida (evaporador rotativo Büchi R-210, Flawil, Suíça).

Para a preparação das decocções, ao material vegetal seco e triturado (500 mg) foram adicionados 100 mL de água destilada, tendo sido este material aquecido e cozido durante 5 min. A mistura foi deixada em repouso durante 5 min, posteriormente filtrada sob pressão reduzida.

Os extratos hidroetanólicos e decocções obtidos foram liofilizados para posterior análise de compostos fenólicos e atividade antioxidante.

2.4. Composição fenólica dos extratos hidroetanólicos e decocções

O perfil fenólico foi determinado por HPLC-DAD-ESI / MSn (Dionex Ultimate 3000 UPLC, Thermo Scientific, San Jose, CA, EUA). Os compostos fenólicos foram separados e identificados como descrito por Bessada et al. (2016). Os extratos

obtidos foram redissolvidos a uma concentração de 5 mg mL⁻¹, com uma mistura etanol / água (80:20, v/v). Uma detecção on-line dupla foi feita usando os comprimentos de onda preferidos do detector de matriz de diodo (DAD): 280, 330 e 370 nm, e um espectrômetro de massa (MS) conectado ao sistema HPLC através da saída da célula DAD. A detecção de MS foi feita em modo negativo, utilizando um espectrômetro de massa Linear Ion Trap LTQ XL (ThermoFinnigan, San Jose, CA, EUA), equipado com uma fonte ESI.

A identificação de compostos fenólicos foi feita com base no comportamento cromatográfico e UV-vis e no espectro de massa em comparação com compostos padrões (quando disponíveis) e dados relatados na literatura. A aquisição de dados foi feita pelo sistema de dados Xcalibur® (ThermoFinnigan, San Jose, CA, EUA). Para análise quantitativa, uma curva de calibração para cada padrão fenólico disponível foi construída com base no sinal UV. Os compostos fenólicos para os quais um padrão comercial não estava disponível foram quantificados usando curvas de calibração do composto padrão mais similar: apigenina-6-C-glucósido ($y = 107025x + 61531$, $R^2 = 0,998$); catequino ($y = 84950x - 23200$, $R^2 = 0,999$); ácido protocatequico ($y = 214168x + 27102$, $R^2 = 0,999$); quercetina-3-O-glucósido ($y = 34843x - 160173$, $R^2 = 0,999$); quercetina-3-O-rutinosido ($y = 13343x + 76751$, $R^2 = 0,999$). Os resultados foram expressos em mg / g de extrato.

2.5. Avaliação de bioatividades

2.5.1 Atividade Antioxidante

Os extratos hidroetanólicos e decocções foram redissolvidos de modo a obter soluções estoque (10 mg mL⁻¹), que foram em seguida diluídas para se obter uma gama de concentrações de trabalho para avaliar a atividade antioxidante. O ensaio para sequestro de radicais DPPH foi avaliado usando um leitor de microplacas ELX800 (Bio-Tek Instruments, Inc, Winooski, EUA), e calculado como uma porcentagem da descoloração de DPPH medida a 515 nm. O poder de redução foi avaliado pela capacidade de converter Fe³⁺ em Fe²⁺, medindo a absorvência a 690 nm no leitor de microplacas descrito anteriormente. A inibição do branqueamento de β-caroteno foi avaliada por meio do ensaio β-caroteno/linoleato, aplicando a equação absorção de β-

caroteno após 2h de ensaio/absorvância inicial) $\times 100$, a absorvância foi medida a 470 nm. Os resultados foram expressos como valores EC_{50} , concentração da amostra fornecendo 50% de atividade antioxidante ou 0,5 de absorvância no ensaio de potência redutora. Trolox foi usado como controle positivo.

2.5.2 Atividade Antimicrobiana

A atividade antibacteriana foi determinada utilizando quatro bactérias Gram-positivas: *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538), *Bacillus cereus* (isolado clínico), *Micrococcus flavus* (ATCC10240) e *Listeria monocytogenes* (NCTC7973), e quatro bactérias Gram-negativas: *Escherichia coli* (ATCC 35210), *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853), *Salmonella typhimurium* (ATCC 13311) e *Enterobacter cloacae* (ATCC 35030).

Para os ensaios antifúngicos, foram utilizados *Aspergillus fumigatus* (ATCC1022), *Aspergillus ochraceus* (ATCC12066), *Aspergillus versicolor* (ATCC11730), *Aspergillus niger* (ATCC6275), *Penicillium funiculosum* (ATCC 36839), *Penicillium ochrochloron* (ATCC9112), *Penicillium verrucosum* var. *ciclopio* (isolado alimentar) e *Trichoderma viride* (IAM 5061).

As concentrações mínimas inibitórias (CIM), concentrações mínimas bactericidas (MBC) e concentrações mínimas fungicidas (CMF) foram determinadas segundo metodologia descrita por Gomes-Correa et al. (2015). Cada cultura de bactéria foi ajustada em período noturno por espectrofotometria a uma concentração de 1×10^5 UFC mL⁻¹. As diluições dos inóculos foram cultivadas em meio sólido para verificar a ausência de contaminação e verificar a validade de cada inóculo. Diferentes diluições de solventes dos extratos foram adicionadas aos poços contendo 100 μ L de meio de cultivo em caldo (TSB), e posteriormente, foram adicionados 10 μ L de inóculo a todos os poços. A Concentração Inibitória Mínima (CMI) das amostras foi detectada após a adição de 40 μ L de cloreto de iodonitrotetrazólio (INT) (0,2 mg/mL) e incubação a 37 ° C durante 30 min. A concentração mais baixa que produziu uma inibição significativa (cerca de 50%) do crescimento da bactéria em comparação com o controle positivo foi identificada como CMI. As MIC obtidas a partir do teste de susceptibilidade de várias bactérias aos extratos testados foram determinadas também por um teste de viabilidade microbiana colorimétrica com base na redução da cor INT e comparadas

com um controle positivo para cada estirpe bacteriana. O CMB foi determinado por subcultivo em série de 10 µL em microplacas contendo 100 µL de TSB. A menor concentração que não mostrou crescimento após essa subcultura foi lida como o CMB.

Os esporos fúngicos foram lavados da superfície de placas de ágar com solução salina a 0,85% estéril, contendo 0,1% de Tween 80 (v/v). A suspensão de esporos foi ajustada com solução salina estéril até uma concentração de aproximadamente $1,0 \times 10^5$ em volume final de 100 µL por poço. Os inóculos foram armazenados a 4 °C para uso posterior. As diluições de cada inóculo foram cultivadas em MA sólida para verificar a ausência de contaminação e verificar a viabilidade do inóculo. A determinação da CMI foi feita por uma técnica de diluição em série, usando placas de microtitulação de 96 poços. Os extratos foram dissolvidos numa solução a 5% de Dimetilsulfóxido (DMSO) e adicionado ao meio caldo de malte com um inóculo fúngico. As microplacas foram incubadas durante 72h a 28 °C. As concentrações mais baixas sem crescimento visível foram definidas como as CMI. As concentrações fungicidas mínimas (CMF) foram determinadas por subcultivo em série de 2 µL em placas de microtitulação contendo 100 µL de caldo de malte por poço e posterior incubação por 72h a 28°C. A menor concentração sem crescimento visível foi definida como o CMF, indicando 99,5% de morte do inóculo original.

Os fármacos padrões, nomeadamente a estreptomicina e a ampicilina, o bifonazol e o cetoconazol, foram utilizados como controles positivos, enquanto 5% de DMSO foi utilizado como controle negativo. As amostras foram testadas em duplicata, e as experiências repetidas três vezes.

Os organismos bacterianos e fúngicos foram obtidos no Laboratório de Micologia, Departamento de Fitologia Vegetal, Instituto de Pesquisa Biológica "*Sinisa Stanković*", Universidade de Belgrado, Sérvia e os resultados foram expressos em mg mL⁻¹.

2.5.3 Atividade anti-inflamatória e citotóxica

Os extratos de hidroetanólicos (80:20, v/v) e decocção foram redissolvidos para obter soluções estoque de 8 mg mL⁻¹ e submetidos a diluições adicionais. Foram testadas quatro linhas de células tumorais humanas: MCF-7 (adenocarcinoma de mama), NCI-H460 (carcinoma de pulmão de células não pequenas), HeLa (carcinoma cervical) e HepG2 (carcinoma hepatocelular). O ensaio de Sulforodamina B foi feito segundo procedimento anteriormente descrito por Barros et al. (2013). Para avaliação

da citotoxicidade em células não tumorais, preparou-se uma cultura celular, denominada PLP2, a partir de um fígado de porco recém-colhido, obtido de um matadouro local, segundo procedimento estabelecido por Abreu et al. (2011). A *Elipticina* foi utilizada como controle positivo, e os resultados expressos em valores de GI₅₀ (concentração que inibiu 50% do crescimento celular).

2.5.4 Análise estatística

Foram utilizadas três amostras para cada grupo, e todos os ensaios foram feitos em triplicata. Os resultados foram expressos como valores médios e desvio padrão (SD). A análise estatística foi feita utilizando a análise de variância unidirecional (ANOVA), seguida do teste Student-Newman-Keuls (SNK), com $p = 0,05$. Quando necessário, o teste t de Student foi utilizado para determinar a diferença significativa entre menos de três amostras diferentes, com $p = 0,05$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 1, 2 e 3 apresentam os perfis cromatográficos dos extratos de folhas, galhos e periderme de *C. urucurana* B., secos a diferentes temperaturas do ar de secagem (40, 50, 60 e 70 °C).

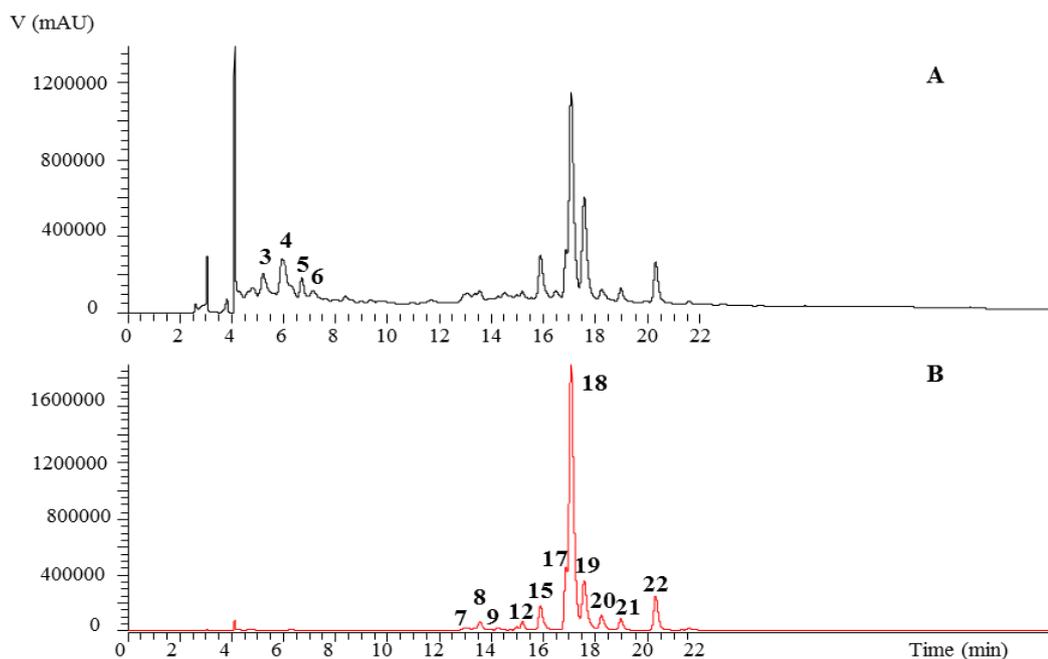


Figura 1. Perfil cromatográfico a 280 nm (A) e 320 (B) dos extratos de folhas de *Croton urucurana* B.

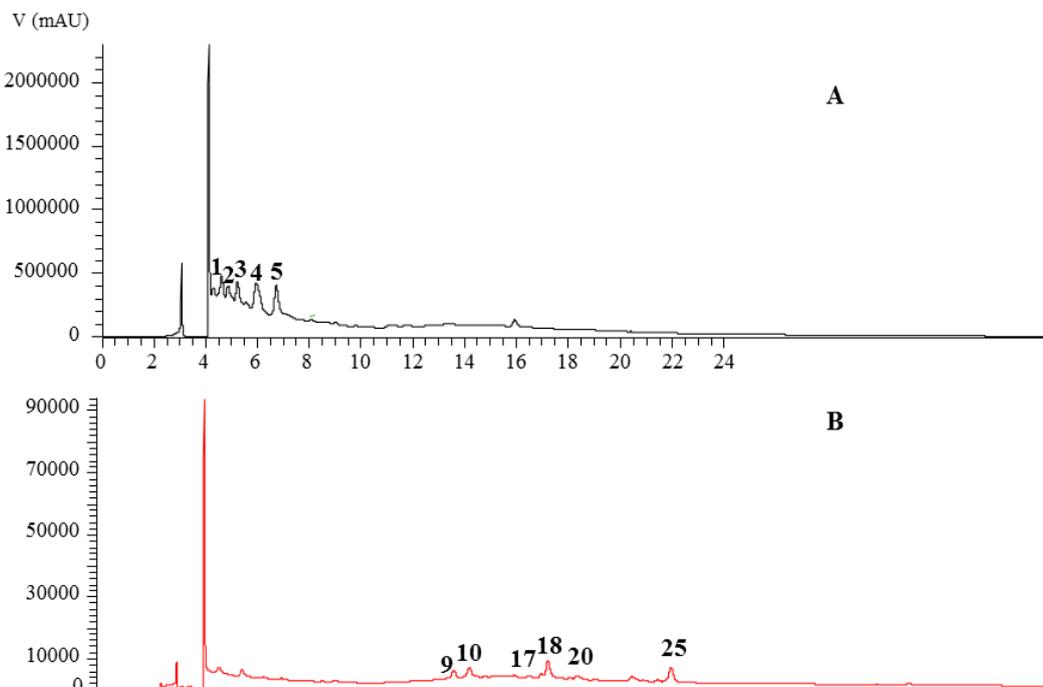


Figura 2. Perfil cromatográfico a 280 nm (A) e 320 (B) dos extratos da casca de *Croton urucurana* B.

A Tabela 1 apresenta os resultados da identificação da composição química dos extratos hidroetanólicos e decocção das folhas, galhos e periderme de *C. urucurana* Baill., submetidas a diferentes temperaturas de secagem. Foram identificados 25 compostos, identificados como derivados de (1-2) *Flavan-3-ol*, (3-4) *dímero de (epi)catequina*, (5) *Catequina*, (6) *(epi)catequina tetrâmero*, (7) *Apigenina-6.8-C-dihexosida*, (8) *Apigenina-C-glucósido-O-pentosil*, (8) *Quercetina-dihexosideo*, (10) *Miricetina-O-rutinosideo*, (11) *Miricetina-3-O-rutinosideo*, (12) *Quercetina-O-pentosil rutinosideo*, (13) *Quercetina-hexosil rutinosideo*, (14) *Apigenina-8-C-glucosideo*, (15) *Quercetina-hexosil rutinosideo*, (16) *Apigenina-8-C-glucosideo*, (17) *Quercetina dioxihexosidea hexosideo*, (18) *Quercetina-3-O-rutinosideo*, (19) *Apigenina-6-C-glucosideo*, (20) *Quercetina-3-O-hexosideo*, (21) *Kaempferol dioxihexosil hexosideo*, (22) *Kaempferol 3-O-rutinosideo*, (23) *Isorametina-3-O-rutinosideo*, (21) *Isorametina-dioxihexosideo hexosideo* e (25) *Siringetina-O-rutinosideo*. Resultados semelhantes para identificação de compostos fenólicos foram obtidos com o objetivo de fazer a identificação de compostos fenólicos em *C. urucurana* B. (PERES et al., 1997; LUIZ et al., 2007; SALATINO et al., 2007; PIZZOLATTI et al., 2013).

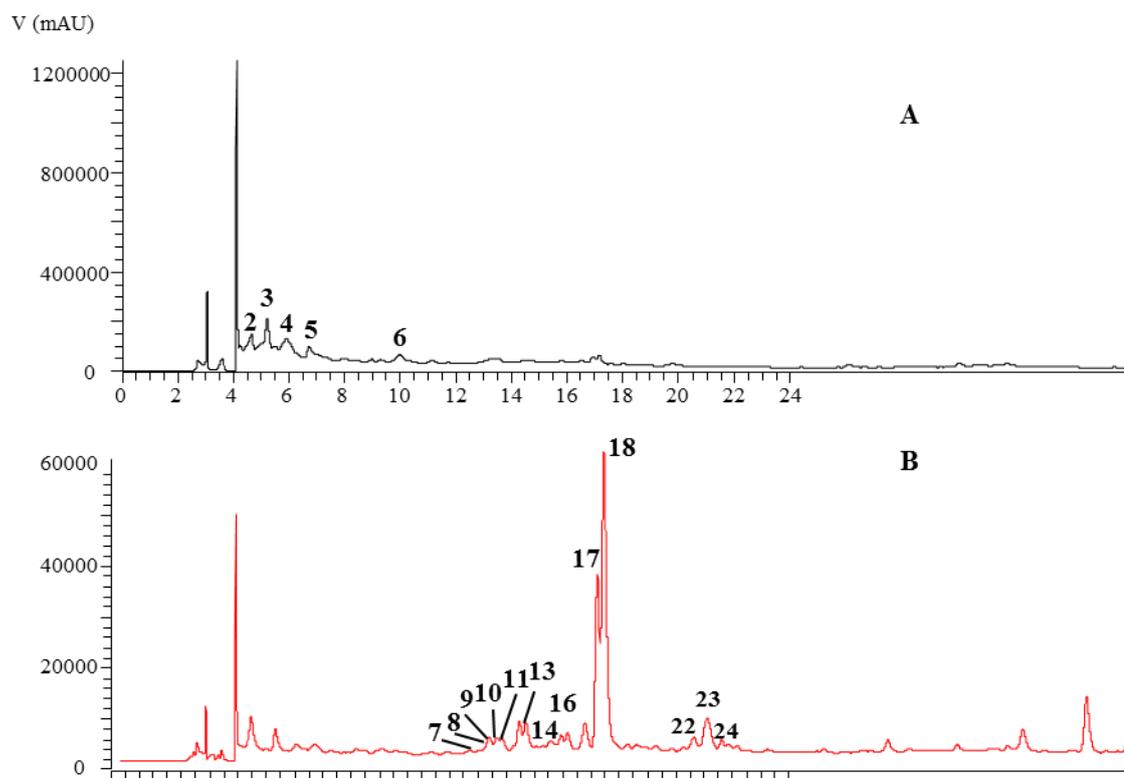


Figura 3. Perfil cromatográfico a 280 nm (A) e 320 (B) dos extratos do galhos de *Croton urucurana* B.

As Tabelas 2, 3 e 4 mostram a quantificação dos compostos fenólicos presentes nas folhas, galhos e periderme de *C. urucurana* Baill. observando que houve pequena variação na quantidade de compostos fenólicos totais, sendo que a temperatura de 50 °C manteve a maior quantidade de compostos fenólicos totais para folhas, não apresentando sensível variação para os compostos fenólicos nos galhos e com maiores quantidades para a secagem na temperatura de 40 °C na periderme. Foi observada resistência dos compostos fenólicos de *Plectranthus amboinicus* quando secos até uma temperatura de 60 °C, quando se iniciou a perda no rendimento de fenólicos, principalmente flavonoides (GALVÃO, 2016). E o rendimento de compostos fenólicos na periderme de *Passiflora edulis* foi expressivo quando considerada a temperatura de secagem em função do tempo (OLIVEIRA, 2011).

Tabela 1. Tempo de retenção (R_t), comprimentos de onda de absorção máxima na região visível (λ_{\max}), dados espectrais de massa e tentativa de identificação dos compostos fenólicos presentes em *Cotron urucurana* Baill. folhas (CBF), galhos (CBG) e periderme (CBP)

Pico	R_t (min)	λ_{\max} (nm)	Íon Molecular [M-H] ⁻ (m/z)	MS ² (m/z)	Tentativa de Identificação	Amostra
1	4,6	276	611	305(100),287(11),261(41),247(14),221(87),179(50)	Flavan-3-ol derivado ^A	CBP
2	4,85	276	593	575(5),467(12),441(8),425(100),305(2),287(8)	Flavan-3-ol derivado ^A	CBP/CBG
3	5,22	278	577	559(10),451(23),425(100),407(22),289(11)	(epi)catequina dímero ^A	CBP/CBF/CBG
4	5,99	279	577	559(6),451(19),425(2),407(19),289(8)	(epi)catequina dímero ^A	CBP/CBF/CBG
5	6,77	280	289	245(100),231(9),205(36),179(13)	Catequina ^A	CBP/CBF/CBG
6	7,12	279	1153	577(55),559(15),451(5),425(5),407(4),289(6)	(epi)catequina tetramero ^A	CBF/CBG
7	13,05	331	593	473(100),431(31),353(29),341(4),311(2)	Apigenina-6,8-C-dihexosida ^B	CBF/CBG
8	13,2	331	563	545(27),473(100),443(79),383(28),353(28),311(2),297(2)	Apigenina-C-glucósido-O-pentosil ^B	CBF/CBG
9	13,59	347	625	301(100)	Quercetina-dihexosideo ^C	CBP/CBF/CBG
10	14,18	352	625	317(100)	Miricetina-O-rutinosideo ^D	CBP/CBG
11	14,41	350	625	317(100)	Miricetina-3-O-rutinosideo ^D	CBG
12	15,1	354	741	609(13),301(100)	Quercetina-O-pentosil rutinosideo ^C	CBF
13	15,23	341	771	609(27),301(100)	Quercetina-hexosil rutinosideo ^C	CBG
14	15,61	342	771	609(22),301(100)	Quercetina-hexosil rutinosideo ^C	CBG
15	15,86	336	431	413(2),341(5),311(100),283(3)	Apigenina-8-C-glucosideo ^B	CBF
16	15,89	329	771	301(100)	Quercetina-hexosil rutinosideo ^C	CBG
17	16,94	350	609	301(100)	Quercetina dioxihexosida hexosideo ^C	CBP/CBF/CBG
18	17,17	356	609	301(100)	Quercetina-3-O-rutinosideo ^C	CBP/CBF/CBG
19	17,54	337	431	413(6),341(27),311(100),283(3)	Apigenina-6-C-glucosideo ^B	CBF
20	18,3	354	463	301(100)	Quercetina-3-O-hexosideo ^C	CBP/CBF
21	18,98	348	593	285(100)	Kaempferol dioxihexosil hexosideo ^C	CBF
22	20,29	346	593	285(100)	Kaempferol 3-O-rutinosideo ^C	CBF/CBG
23	20,79	334	623	315(100)	Isorametina-3-O-rutinosideo ^C	CBG
24	21,3	329	623	315(100)	Isorametina-dioxihexosideo hexosideo ^C	CBG
25	21,86	339	653	345(100)	Siringetina-O-rutinosideo ^C	CBP

Padrão para curvas de calibração: A – Catequina ($y = 84950x - 23200$, $R^2=0,9999$); B - Apigenina-6-glucosida ($y = 107025x + 61531$, $R^2=0,9989$); C- Quercetina-3-O-glucosida ($y = 34843x - 160173$, $R^2=0,9998$); D- Quercitina-3-O-rutinosida ($y = 13343x + 76751$, $R^2=0,9998$).

Tabela 2. Quantificação (mg/g dw) de compostos fenólicos presentes nas folhas de *Cotron urucurana* Baill

Picos	Hidroetanólios				Decocção			
	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C
3	2,07±0,001	2,56±0,069	0,95±0,021	1,71±0,44	1,85±0,017	2,29±0,005	2,49±0,090	2,05±0,010
4	4,19±0,012	11,34±0,107	3,62±0,001	9,78±0,196	2,96±0,013	3,33±0,100	5,11±0,008	5,58±0,095
5	2,17±0,007	4,08±0,051	1,64±0,72	2,06±0,023	1,07±0,032	1,46±0,005	2,25±0,111	5,13±0,019
6	0,69±0,009	1,06±0,019	0,81±0,040	1,28±0,046	0,49±0,089	1,58±0,014	0,32±0,001	0,50±0,003
7	0,02±0	0,02±0,001	0,11±0,004	0,05±0,002	0,10±0,031	0,05±0,001	0,28±0,005	0,05±0
8	tr	tr	tr	tr	tr	0,03±0,001	0,05±0	0,08±0,003
9	1,16±0,004	1,19±0,054	1,21±0,009	1,11±0,004	1,10±0,002	1,10±0,019	1,02±0,017	1,03±0,010
12	1,16±0,004	1,22±0,045	1,19±0,026	1,14±0,008	1,20±0,002	1,15±0,030	1,17±0,015	1,14±0,002
15	3,41±0,029	3,68±0,176	3,16±0,037	3,00±0,067	2,83±0,086	2,71±0,069	3,37±0,026	3,26±0,167
17	2,60±0,057	2,88±0,044	2,40±0,075	2,68±0,071	2,35±0,004	2,88±0,062	2,25±0,048	3,05±0,084
18	11,18±0,013	17,72±0,821	14,66±0,121	14,20±0,146	15,43±0,023	16,55±0,385	19,86±0,868	16,19±0,261
19	7,62±0,081	5,31±0,006	5,34±0,112	4,49±0,025	5,17±0,253	4,59±0,213	5,47±0,061	4,86±0,199
20	1,50±0,039	1,66±0,042	1,42±0,005	1,41±0,029	1,48±0,056	1,46±0,062	1,79±0,084	1,58±0,004
21	1,35±0,009	1,32±0,009	1,34±0,018	1,27±0,051	1,33±0,006	1,31±0,023	1,34±0,013	1,26±0,061
22	2,48±0,019	2,37±0,004	2,13±0,012	2,17±0,033	2,40±0,018	2,33±0,030	2,56±0,037	2,27±0,027
TPC	41,61±0,192	56,41±1,21	39,98±0,06	46,35±0,17	39,75±0,62	42,82±0,83	49,34±1,33	48,03±0,33

nd- não detectado; tr-traços. TPC- Compostos Fenólicos Totais.

Tabela 3. Quantificação (mg/g dw) de compostos fenólicos presentes nos galhos de *Cotron urucurana* Baill

Picos	Hidroetanólios				Decocção			
	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C
2	0,29±0,011	0,18±0,007	0,23±0,004	tr	0,12±0,001	0,16±0,003	0,01±0	tr
3	13,62±0,114	14,71±0,089	16,84±0,126	tr	5,59±0,228	14,38±0,575	15,11±0,003	5,29±0,018
4	1,71±0,073	2,91±0,069	0,19±0,002	2,57±0,076	Tr	tr	tr	tr
5	0,88±0	0,89±0,002	0,54±0,002	0,28±0,009	0,15±0,004	0,18±0,009	0,23±0,002	0,14±0,007
6	0,40±0,014	tr	tr	14,10±0,473	Tr	tr	tr	9,43±0,433
7	tr	tr	tr	tr	Tr	tr	tr	tr
8	tr	tr	tr	nd	Tr	tr	tr	tr
9	0,93±0	0,92±0,001	0,92±0	0,94±0,003	0,92±0	0,93±0,001	0,93±0	0,92±0
10	0,94±0,001	0,94±0,001	0,93±0,004	0,92±0	0,93±0,001	0,94±0	0,93±0	0,92±0
11	0,94±0,001	0,93±0	0,92±0	0,92±0	0,93±0,001	0,93±0,002	0,93±0,001	0,92±0
13	0,92±0	0,93±0	0,92±0,002	0,92±0	0,92±0,001	0,93±0,002	0,93±0,001	0,92±0,001
14	0,93±0,001	0,93±0	0,92±0	0,92±0	0,93±0	0,93±0	0,93±0	0,92±0
16	0,93±0,001	0,95±0,002	0,93±0,001	0,93±0	0,93±0,002	0,96±0,001	0,95±0,001	0,93±0,003
17	1,06±0,016	1,15±0,025	1,07±0,006	0,97±0,003	1,03±0,018	1,17±0,013	1,08±0,006	0,96±0,004
18	1,21±0,020	1,57±0,004	1,34±0,025	1,06±0,013	1,13±0,044	1,54±0,001	1,34±0,003	1,02±0,008
22	0,92±0	0,93±0,004	0,92±0	1,06±0,004	0,92±0	0,93±0,002	0,93±0,001	0,98±0,007
23	0,95±0,002	0,95±0,005	1,01±0,010	1,64±0,037	0,93±0,002	0,95±0	0,97±0,002	1,23±0,027
24	0,92±0,001	0,93±0,002	0,93±0	0,92±0	0,92±0,001	0,93±0,002	0,93±0,003	0,93±0,003
TPC	27,54±0,05	29,83±0,004	28,62±0,175	28,16±0,499	16,35±0,302	25,86±0,574	26,19±0	25,51±0,448

nd- não detectado; tr-traços. TPC- Compostos Fenólicos Totais.

Tabela 4. Quantificação (mg/g dw) de compostos fenólicos presentes na periderme de *C. urucurana* Baill

Picos	Hidroetanólios				Decocção			
	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C
1	3,29±0,0487	1,93±0	0,84±0,001	0,72±0,016	2,72±0,024	1,33±0,02	0,24±0,003	1,45±0,045
2	1,98±0,0242	0,55±0	0,46±0,006	0,40±0,006	1,61±0,036	0,88±0,01	0,95±0,001	2,15±0,076
3	3,27±0,0328	2,38±0	2,55±0,016	2,94±0,008	2,21±0,053	1,32±0,01	2,14±0,005	3,34±0,114
4	4,56±0,0545	1,93±0	1,22±0,035	1,39±0,054	2,72±0,070	0,57±0,03	0,44±0,004	1,11±0,037
5	5,68±0,0899	2,98±0	1,98±0,045	2,57±0,092	2,10±0,007	0,80±0,01	1,35±0,004	2,10±0,067
9	0,94±0,0006	0,97±0	0,99±0,005	0,97±0,001	0,93±0,001	0,94±0	0,95±0,008	0,96±0,007
10	0,94±0,0010	0,93±0	0,93±0,001	0,93±0	0,93±0,001	0,93±0	0,93±0,001	0,93±0,002
17	0,93±0,0001	0,93±0	0,95±0,002	0,93±0	0,93±0,001	0,92±0	0,94±0,002	0,94±0
18	0,95±0,0002	0,93±0	0,97±0,003	0,95±0,004	0,95±0,007	0,93±0	0,96±0,002	0,95±0,002
20	0,93±0,0004	0,94±0	0,94±0,001	0,94±0,001	0,92±0,002	0,93±0	0,94±0,004	0,94±0,002
25	0,95±0,0035	0,93±0	0,94±0,001	0,94±0,001	0,94±0,001	0,93±0	0,93±0,002	0,94±0,001
TPC	24,42±1,04	15,40±0,0	12,76±0,09	13,67±0,12	16,95±0	10,47±0,05	10,77±0	15,81±0,25

nd- não detectado; tr-traços. TPC- Compostos Fenólicos Totais.

Os extratos hidroetanólicos e também os de decocção de folhas apresentaram maior conteúdo fenólico e flavonoides, comparativamente às demais partes estudadas da planta. Este acúmulo pode ser atribuído ao fato de as folhas terem apresentado mais facilmente uma porta de entrada para ação de agentes fitopatogênicos, considerando que os compostos fenólicos como agentes de defesa oriundos do metabolismo da planta estão em maior quantidade nas folhas (ALMEIDA, 2007; HORST, 2008; SOUZA et al., 2010; ACHKAR et al., 2013; CHAICOUSKI et al., 2014).

As plantas são constituídas por uma ampla diversidade química de compostos antioxidantes, e separar cada componente antioxidante e estudá-lo individualmente torna-se um trabalho dispendioso, uma vez que a análise de um único composto não reflete necessariamente a capacidade antioxidante total, haja vista suas possíveis interações com os demais compostos (PINELA, 2012). As propriedades antioxidantes dos compostos fenólicos têm sido atribuídas à sua capacidade de sequestrar radicais livres gerados na fase aquosa e aumentar a resistência dos lipídeos contra a peroxidação (SILVA, S. C. D. S. et al., 2017).

A Tabela 5 apresenta os resultados das atividades antioxidantes estudadas para folhas, galhos e periderme de *C. urucurana* B., utilizando extrato hidroetanólico e decocção. Todos os extratos apresentaram atividade antioxidante, sendo o hidroetanólico mais expressivo provenientes da periderme da *C. urucurana* B. para DPPH e poder redutor. Nos extratos feitos por decocção, as folhas apresentaram melhores valores para atividade antioxidante, inibindo o branqueamento de β -caroteno, com menores valores para as folhas secas de *C. urucurana* nas temperaturas de secagem inferiores (40 e 50 °C), indo ao encontro de estudos desenvolvidos com *Croton celtidifolius* Baill., que apontam a capacidade antioxidante dos compostos fenólicos presentes em seu látex, principalmente a eficiência na captura de radicais livres DPPH (HORST, 2008). A periderme tem maior quantidade de compostos antioxidantes em comparação com o extrato das folhas, o que pode ser evidenciado pela maior concentração de compostos fenólicos, tais como flavonoides e taninos, comuns em *C. urucurana* Baill. (SOUZA, 2013; SILVA, S. C. D. S. et al., 2017).

Mesmo com o processo de secagem, houve permanência dos compostos fenólicos, assim como a manutenção da capacidade de desempenhar seu papel biológico, pois, embora em baixa concentração, foram capazes de impedir, retardar e

prevenir a autoxidação ou oxidação mediada por radicais livres (DUARTE-ALMEIDA et al., 2006).

Todos os extratos revelaram atividade antifúngica, mostrando diferentes seletividade e MICs para cada microrganismo, em comparação com o controle positivo Cetoconazol. As Figuras 4 e 5 mostram a ação antifúngica, os extratos hidroetanólicos e a decocção das folhas, periderme e galhos de *C. urucurana* B., sob diferentes temperaturas de secagem, em relação a antifúngicos comerciais, com exceção dos fungos *Aspergillus fumigans* e *ochraceus*, cuja concentração inibitória mínima não foi possível determinar. Os extratos hidroetanólicos de folhas estão consonantes com o maior teor de fenóis e flavonoides encontrados. A eficiência da ação antifúngica dos compostos fenólicos sobre o gênero *Aspergillus* é amplamente apontada na literatura (BARROS et al., 2007; DZAMIC et al., 2009; SOUZA et al., 2010, 2012; GRAÇA et al., 2016), no entanto, não foi possível determinar a ação antifúngica em relação às espécies *Aspergillus fumigans* e *A. ochraceus* para os extratos de *C. urucurana*. Para os demais fungos, todos os extratos apresentaram concentrações abaixo do fármaco comercial. Essa atividade antifúngica pode ser atribuída ao fato de os flavonoides apresentarem capacidade de formar complexos com proteínas solúveis presentes nas paredes das células fúngicas (FLAMBÓ, 2013).

Tabela 5 – Efeito da temperatura de secagem sobre as atividades antioxidantes para folhas, galhos e periderme de *Croton urucurana* B., utilizando extrato hidroetanólico (Maceração) e decocção (média±DP).

DPPH												
Temperatura (°C)	Decocção					Maceração (EtOH:H ₂ O)						
	Folha		Galho		periderme	Folha		Galho		periderme		
40	38,91±0,04	Bb ⁱⁱ	67,96±2,02	Ca ⁱⁱ	23,49±0,61	Aa ⁱⁱ	27,14±1,87	Bb ⁱ	42,59±3,03	Cb ⁱ	15,14±0,02	Aa ⁱ
50	24,86±0,11	Aa ⁱⁱ	89,36±2,45	Ab ⁱⁱ	132,00±0,13	Ac ⁱⁱ	19,21±1,66	Aa ⁱ	33,40±0,07	Ba ⁱ	19,31±1,21	Aa ⁱⁱ
60	40,80±2,84	Ab ⁱⁱ	144,64±7,72	Cc ⁱ	96,65±7,31	Bb ⁱⁱ	34,23±0,97	Bb ⁱ	154,47±9,13	Cc ⁱⁱ	18,02±0,05	Aa ⁱ
70	24,22±1,27	Aa ⁱ	291,11±6,54	Bd ⁱ	27,96±2,56	Aa ⁱ	34,23±0,97	Ab ⁱⁱ	344,40±7,59	Cd ⁱⁱ	45,45±0,09	Bb ⁱⁱ

PODER REDUTOR												
Temperatura (°C)	Decocção					Maceração (EtOH:H ₂ O)						
	Folha		Galho		periderme	Folha		Galho		periderme		
40	72,93±1,79	Cb ⁱⁱ	65,32±4,65	Aa ⁱ	68,33±0,22	Ba ⁱⁱ	58,20±0,44	Bb ⁱ	216,15±5,33	Cb ⁱⁱ	15,24±0,09	Aa ⁱ
50	73,80±0,41	Ab ⁱⁱ	268,16±1,53	Cb ⁱⁱ	86,93±0,41	Bc ⁱⁱ	57,05±0,26	Ab ⁱ	68,00±1,10	Ca ⁱ	64,45±0,92	Bc ⁱ
60	100,07±1,78	Ac ⁱⁱ	296,22±4,44	Cc ⁱ	105,14±0,84	Bb ⁱⁱ	14,50±0,14	Aa ⁱ	428,15±6,95	Cc ⁱⁱ	68,1±0,50	Bd ⁱ
70	66,00±0,09	Aa ⁱⁱ	468,78±2,31	Cd ⁱ	100,97±1,18	Bb ⁱⁱ	16,13±0,06	Aa ⁱ	828,09±14,4	Cd ⁱⁱ	19,28±0,40	Bb ⁱ

β-CAROTENO												
Temperatura (°C)	Decocção					Maceração (EtOH:H ₂ O)						
	Folha		Galho		periderme	Folha		Galho		periderme		
40	34,20±2,50	Aa ⁱ	71,07±0,82	Ba ⁱ	85,96±2,24	Ca ⁱⁱ	79,24±9,26	Ba ⁱⁱ	114,73±3,47	Cc ⁱⁱ	30,86±1,19	Aa ⁱⁱ
50	58,71±0,97	Ab ⁱ	87,68±0,61	Bb ⁱⁱ	159,13±0,23	Cc ⁱ	77,39±0,83	Aa ⁱⁱ	74,63±0,55	Ab ⁱ	376,25±0,09	Bd ⁱⁱ
60	71,08±1,83	Ac ⁱ	186,17±12	Cd ⁱ	144,73±1,94	Bb ⁱ	288,39±13	Cc ⁱⁱ	263,9±8,33	Ad ⁱⁱⁱ	148,84±5,06	Ac ⁱⁱ
70	74,21±4,90	Ac ⁱ	130,41±1,96	Bc ⁱⁱ	168,16±5,05	Cd ⁱⁱ	129,72±6,6	Cb ⁱⁱ	42,35±0,52	Aa ⁱ	82,89±4,84	Bb ⁱ

Os valores de EC₅₀ correspondem à concentração da amostra atingindo 50% de atividade antioxidante ou 0,5 de absorbância para o teste de poder redutor.

^{A,B,C} Médias de uma característica, seguidas de letra maiúscula na linha para os mesmos métodos de extração, não diferem entre si pelo teste de Student-Newman-Keuls (SNK) a 0,05 de significância.

^{a,b,c} Médias de uma característica, seguidas de letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Student-Newman-Keuls (SNK) a 0,05 de significância.

^{i,ii} Médias de uma característica, seguidas de mesmo caráter na linha para folha, galho e periderme, não diferem entre si pelo teste de Student-Newman-Keuls (SNK) a 0,05 de significância.

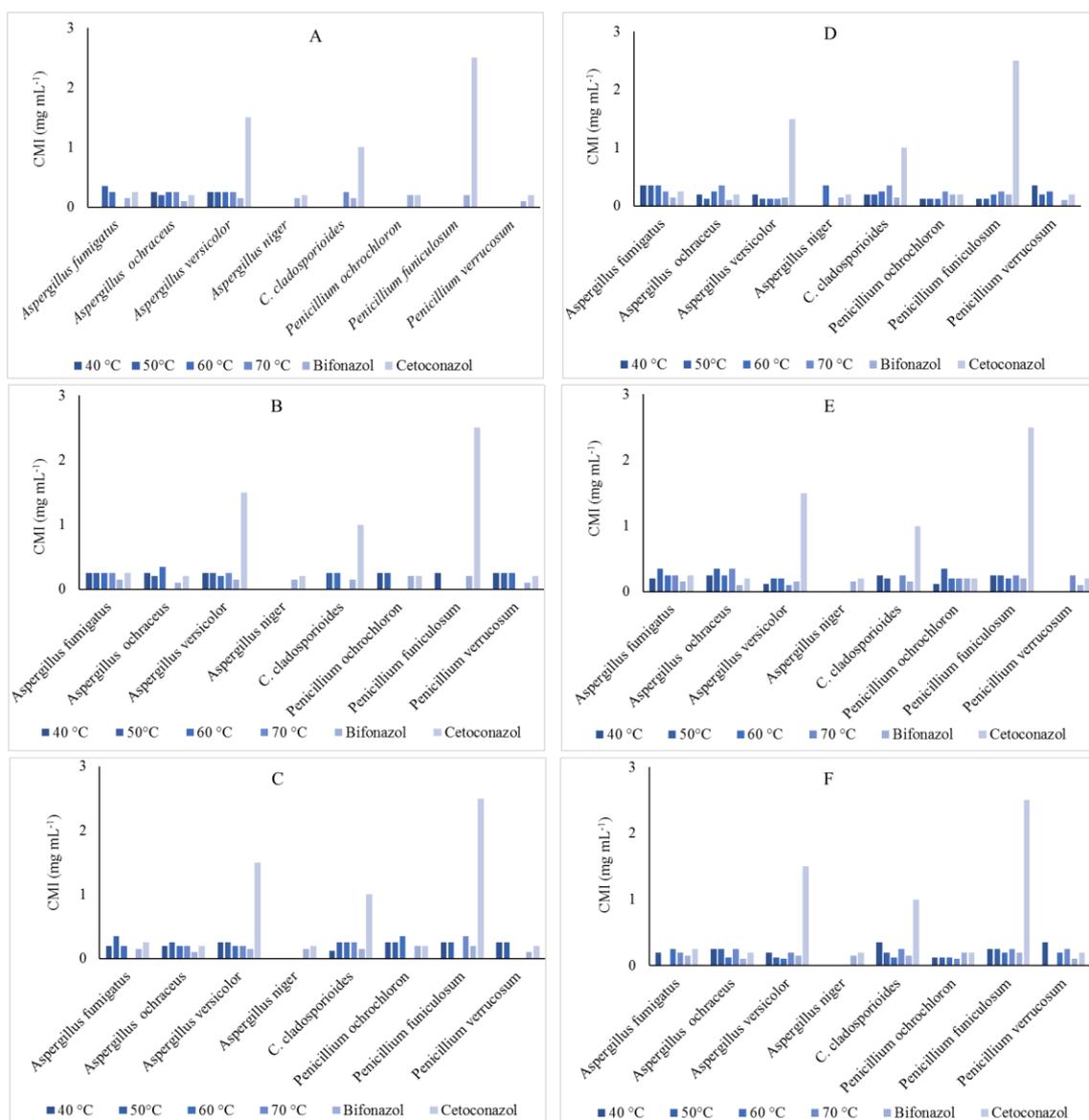


Figura 4. Atividade antifúngica dos extratos hidroetanólicos e decocção das folhas, cascas e galhos de *Croton urucurana* B, sob diferentes temperaturas de secagem, em relação a antifúngicos comerciais. Concentração Inibitória Mínima (CMI mg mL^{-1}). A, B e C – Extratos hidroetanólico de folha, casca e galho, respectivamente. D, E e F – Decocção de folha, casca e galho, respectivamente.

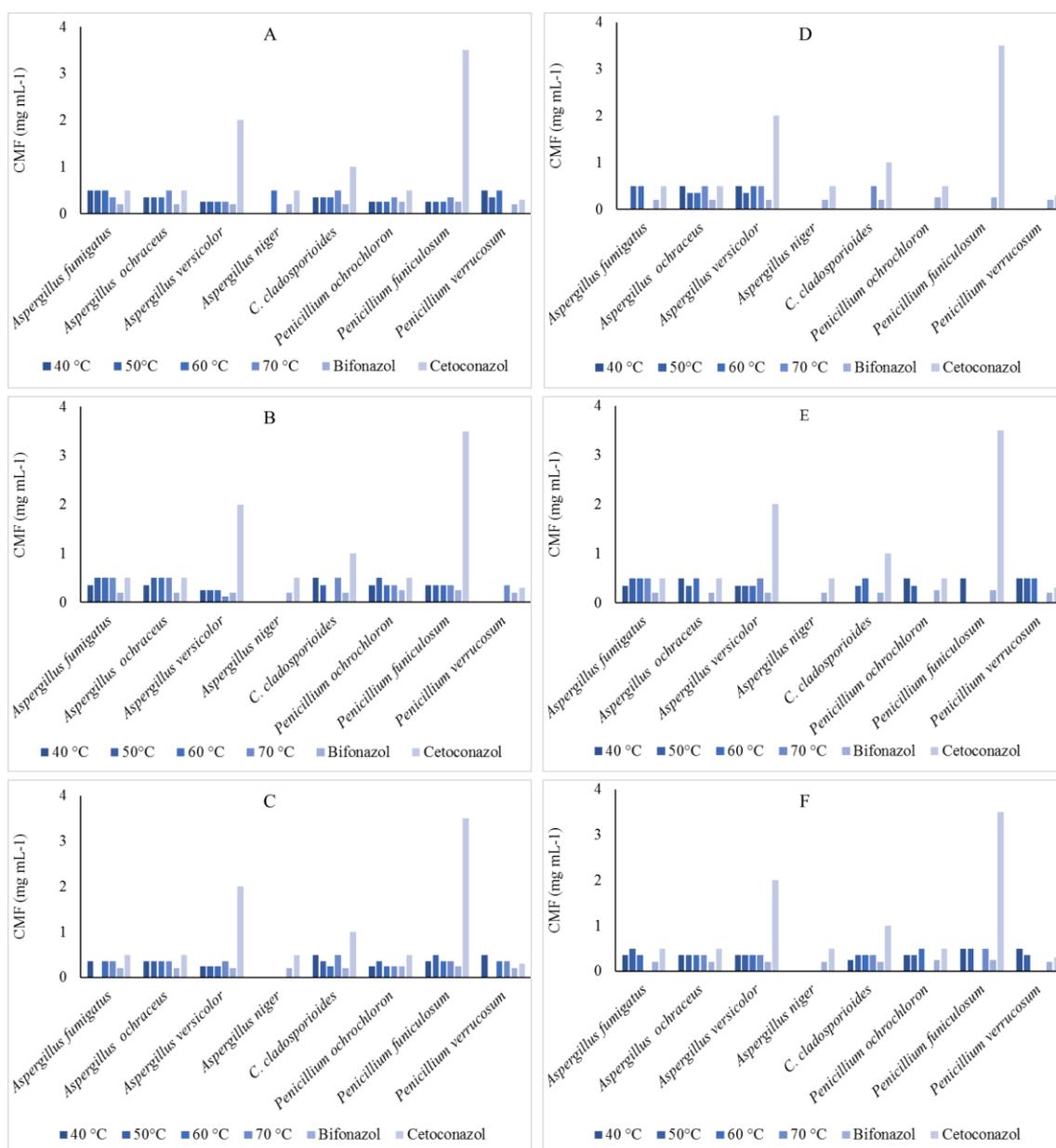


Figura 5. Atividade antifúngica dos extratos hidroetanólico e decocção das folhas, cascas e galhos de *Croton urucurana* B., sob diferentes temperaturas de secagem, em relação a antifúngicos comerciais. Concentração Mínima Fungicida (CMF mg mL⁻¹). A, B e C – Extratos hidroetanólico de folha, casca e galho, respectivamente. D, E e F – Decocção de folha, casca e galho, respectivamente.

A frequente utilização de antibióticos acabou por contribuir para o desenvolvimento de resistências a bactérias patogênicas, reforçando a importância de pesquisas para descoberta e desenvolvimento de novos compostos que apresentem atividade antibacteriana, preferencialmente oriundos de matrizes naturais. As Figuras 6 e 7 mostram as atividades antibacterianas dos extratos hidroetanólico e decocção das folhas, periderme e galhos de *Croton urucurana* B., sob diferentes temperaturas de secagem.

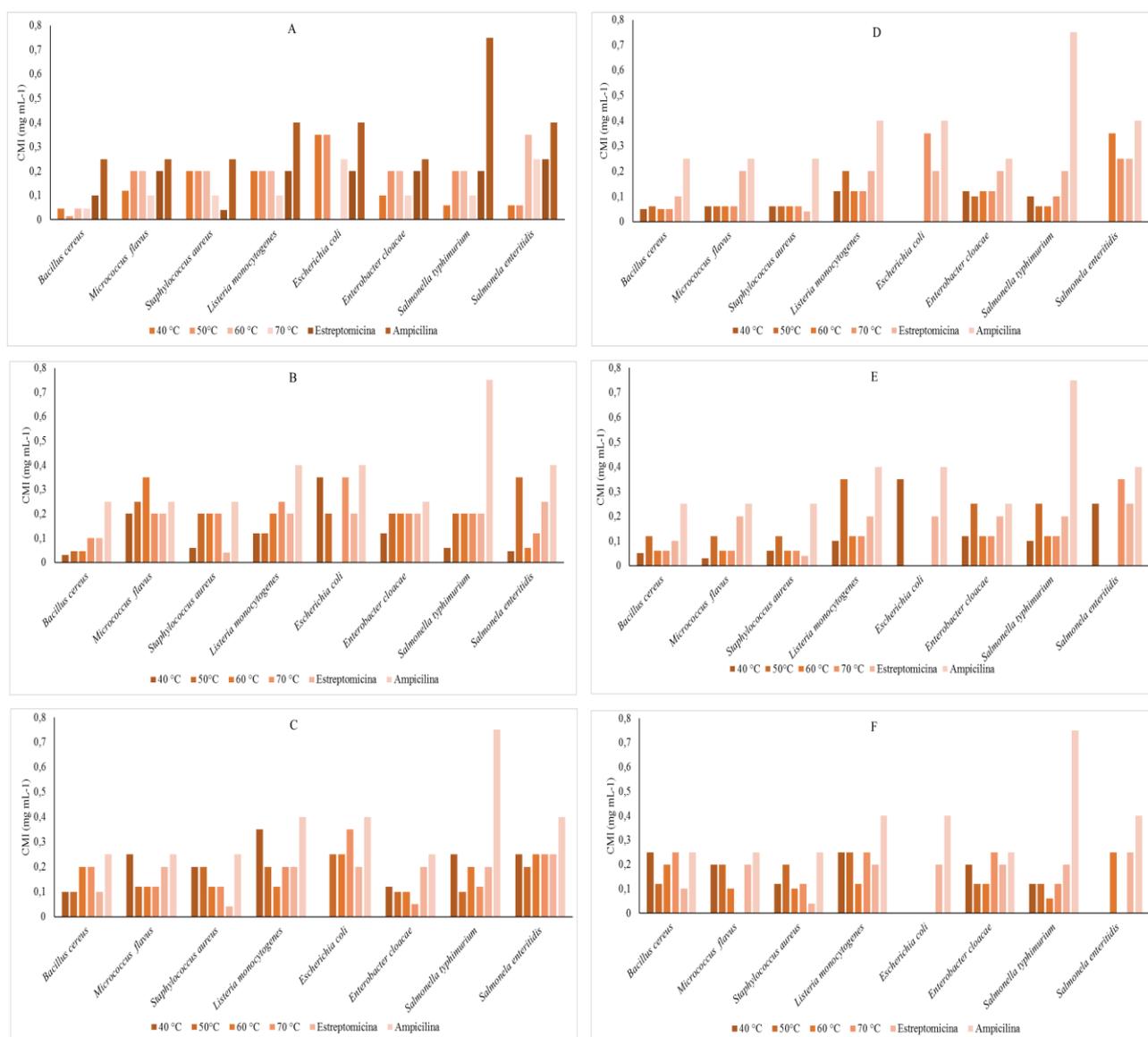


Figura 6. Atividade bacteriana dos extratos hidroetanólicos e decocção das folhas, cascas e galhos de *Croton urucurana* B., sob diferentes temperaturas de secagem. Concentração Inibitória Mínima (CMI mg mL⁻¹). A, B e C – Extratos Hidroetanólico de folha, casca e galho, respectivamente. D, E e F – Decocção de folha, casca e galho, respectivamente.

Foi possível observar que, em todos os testes, os extratos hidroetanólico e decocção das folhas, periderme e galhos de *C. urucurana* B apresentaram potencial atividade antibacteriana, indo ao encontro de outros estudos, utilizando periderme e folhas para controle bacteriano (SOLDERA et al., 2010). A presença de alguns flavonoides como a apigenina, miricetina, quercetina, campferol apresenta atividade contra *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli* e *Bacillus subtilis*, pela inibição da enzima DNA topoisomerase, desta forma, interferindo na replicação de DNA, na expressão e na recombinação de genes (BARROS et al., 2007; FLAMBÓ, 2013; DJOUAHRI et al., 2014).

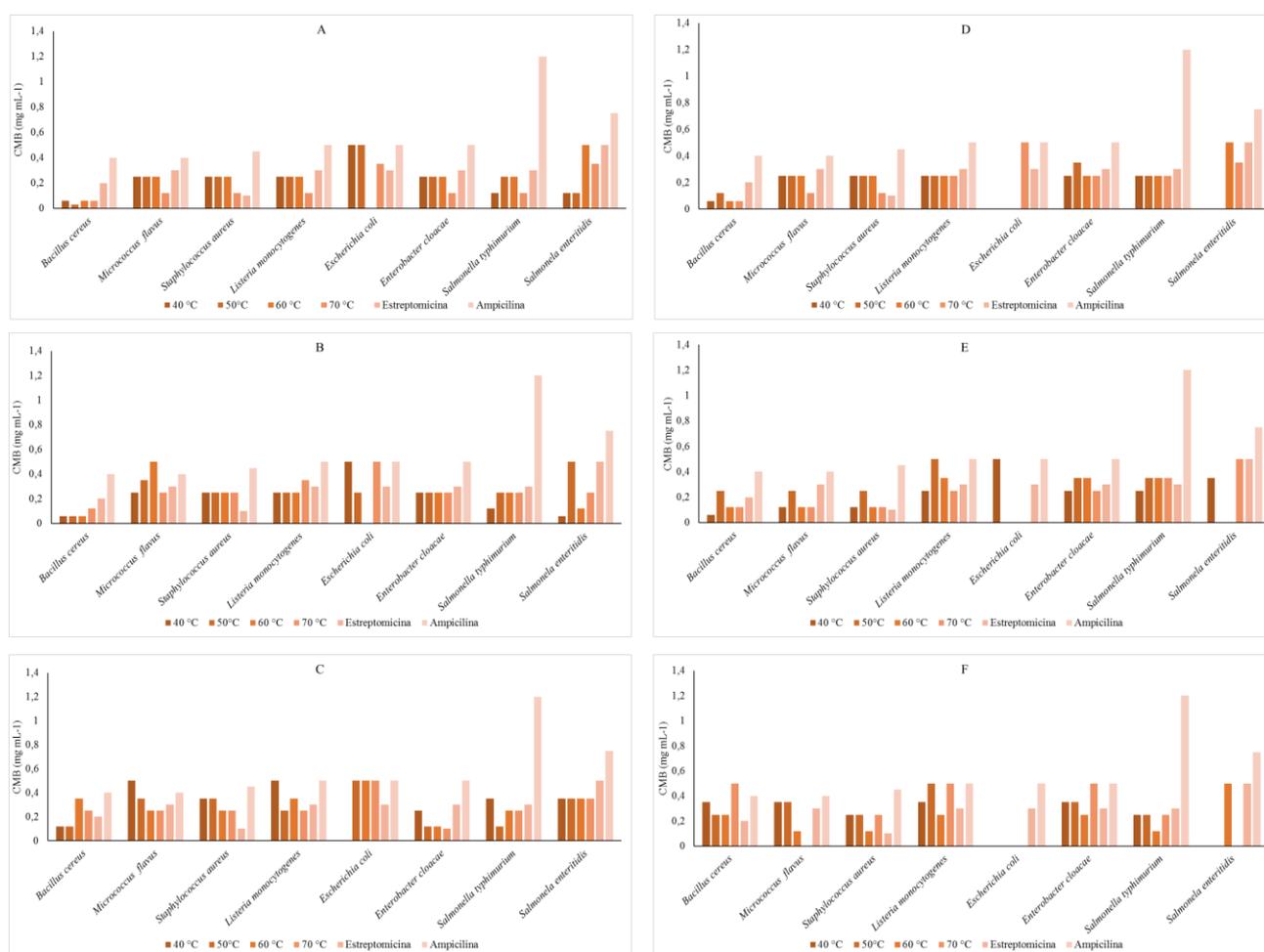


Figura 7. Atividade antibacteriana dos extratos hidroetanólico e decocção das folhas, cascas e galhos de *Croton urucurana* B., sob diferentes temperaturas de secagem. Concentração Mínima Bacteriana (CMB mg mL^{-1}). A, B e C – Extratos Hidroetanólico de folha, casca e galho, respectivamente. D, E e F – Decocção de folha, casca e galho, respectivamente.

Os extratos hidroetanólicos e decocção das folhas e periderme de *C. urucurana* Baill mostraram efeito inibitório sobre o crescimento de diferentes células tumorais humanas, linhas NCI-H460, HeLa, HepG2 e MCF7 (Tabela 6). Por outro lado, este extrato não apresentou toxicidade contra células primárias não tumorais, culturas primárias de células hepáticas PLP2. A inibição do crescimento celular pode estar relacionada com as concentrações de Kaempferol, estando o composto relacionado com a interferência na função mitocondrial das células e tais efeitos serem refletidos no decaimento da proliferação e viabilidade celular, redução de eventos na fase G0/G1, explicando o decréscimo na proliferação celular (TASSO et al., 2011; BISCARO et al., 2013). Estudos comprovam que os flavonoides de espécies de *Croton* induziram o bloqueio no ciclo celular na fase G2/M e promoveram apoptose pela via intrínseca em células leucêmicas (CHENG et al., 2000; HAÏDARA et al., 2006; PRIYADARSINI et al., 2010).

Outro ponto importante é a indução ao processo de morte celular altamente regulado, fundamental para o controle da fisiologia celular e dos tecidos, em resposta a estímulos internos e externos, levando à morte celular rapidamente (LING-ZHI et al., 2005; HUBER, 2010; HUANG et al., 2010; BISCARO et al., 2013). O mesmo foi verificado em estudo com extrato da casca/entrecasca de *C. urucurana*, que induziu a morte das células leucêmicas U937 e THP-1(VIEIRA et al., 2017).

Tabela 6 – Avaliação da atividade antitumoral utilizando extrato hidroetanólico (Maceração) e decocção (média±SE) de folhas, galhos e periderme de *Croton urucurana* B., secos a diferentes temperaturas

NCL H460 (Câncer de pulmão)										
Temperatura (°C)	Decocção					Maceração (EtOH:H ₂ O)				
	Folha	Galho	Periderme			Folha	Galho	periderme		
40	256,91 Bb ⁱⁱ	321,67 Ca ⁱ	173,58 Aa ⁱⁱ			216,54 Ba ⁱ	335,05 Ca ⁱⁱ	142,05 Aa ⁱ		
50	249,32 Ba ⁱⁱ	334,29 Cb ⁱ	203,26 Ab ⁱⁱ			229,89 Bb ⁱ	350,42 Cb ⁱⁱ	181,32 Ac ⁱ		
60	268,69 Bc ⁱⁱ	>400 Cc ⁱ	200,27 Ab ⁱⁱ			248,22 Bc ⁱ	>400 Cc ⁱ	170,38 Ab ⁱ		
70	273,34 Bc ⁱⁱ	>400 Cc ⁱ	206,49 Ab ⁱ			250,32 Bc ⁱ	>400 Cc ⁱ	293,01 Bc ⁱ		

HeLa (Câncer do colo do útero)										
Temperatura (°C)	Decocção					Maceração (EtOH:H ₂ O)				
	Folha	Galho	Periderme			Folha	Galho	periderme		
40	206,04 Ba ⁱⁱ	291,69 Ca ⁱ	150,80 Aa ⁱⁱ			131,30 Ba ⁱ	300,89 Ca ⁱⁱ	88,99 Aa ⁱ		
50	233,23 Bb ⁱⁱ	320,99 Cb ⁱⁱ	192,95 Ab ⁱⁱ			134,95 Ba ⁱ	305,82 Ca ⁱ	110,56 Ab ⁱ		
60	241,40 Bc ⁱⁱ	>400 Cc ⁱⁱ	212,83 Ac ⁱⁱ			163,82 Bb ⁱ	336,29 Cb ⁱ	120,00 Ac ⁱ		
70	248,36 Bd ⁱⁱ	>400 Cc ⁱⁱ	240,64 Ad ⁱⁱ			171,42 Ac ⁱ	368,38 Cc ⁱ	195,73 Bd ⁱⁱ		

HepG2 (Câncer de fígado)										
Temperatura (°C)	Decocção					Maceração (EtOH:H ₂ O)				
	Folha	Galho	Periderme			Folha	Galho	periderme		
40	242,30 Ba ⁱⁱ	337,76 Ca ⁱⁱ	141 Aa ⁱ			193,45 Ba ⁱ	306,35 Ca ⁱ	140,03 Aa ⁱ		
50	264,79 Bb ⁱⁱ	348,9 Cb ⁱⁱ	169,46 Ab ⁱⁱ			201,60 Bb ⁱ	336,68 Cb ⁱ	154,11 Ab ⁱ		
60	259,98 Bb ⁱⁱ	>400 Cc ⁱⁱ	189,39 Ac ⁱⁱ			225,02 Bc ⁱ	340,2 Cb ⁱ	153,53 Ab ⁱ		
70	284,75 Bc ⁱⁱ	>400 Cc ⁱ	228,31 Ad ⁱⁱ			222,11 Bc ⁱ	>400 Cc ⁱ	206,20 Ac ⁱ		

Os valores de GI₅₀ correspondem à concentração da amostra atingindo 50% de atividade antitumoral.

^{A,B,C} Médias de uma característica, seguidas de letra maiúscula na linha para os mesmos métodos de extração, não diferem entre si pelo teste de Student-Newman-Keuls (SNK) a 0,05 de significância.

^{a,b,c} Médias de uma característica, seguidas de letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Student-Newman-Keuls (SNK) a 0,05 de significância.

^{i,ii} Médias de uma característica, seguidas de mesmo caráter na linha para folha, galho e periderme, não diferem entre si pelo teste de Student-Newman-Keuls (SNK) a 0,05 de significância.

(Continuação) Tabela 6 – Avaliação da atividade antitumoral utilizando extrato hidroetanólico (Maceração) e decocção (média±SE) de folhas, galhos e periderme de *Croton urucurana* B., secos a diferentes temperaturas

MCF7 (Câncer de mama)												
Temperatura (°C)	Decocção			Maceração (EtOH:H ₂ O)								
	Folha	Galho	Periderme	Folha	Galho	periderme	Folha	Galho	periderme			
40	257,65	Ba ⁱⁱ	349,33	Ca ⁱⁱ	140,14	Aa ⁱ	171,64	Ba ⁱ	295,73	Ca ⁱ	160,09	Aa ⁱⁱ
50	266,45	Bb ⁱⁱ	352,41	Ca ⁱⁱ	138,8	Aa ⁱ	198,08	Bb ⁱ	339,70	Cb ⁱ	177,13	Ab ⁱⁱ
60	283,94	Bc ⁱⁱ	>400	Cb ⁱ	180,3	Ab ⁱ	210,49	Bc ⁱ	>400	Cc ⁱ	180,76	Ab ⁱⁱ
70	311,36	Bd ⁱⁱ	>400	Cb ⁱ	231,11	Ac ⁱ	227,71	Bd ⁱ	>400	Cc ⁱ	189,13	Ac ⁱⁱ

Anti-inflamatório												
Temperatura (°C)	Decocção			Maceração (EtOH:H ₂ O)								
	Folha	Galho	Periderme	Folha	Galho	periderme	Folha	Galho	periderme			
40	265,60	Ba ⁱⁱ	>400	Ca ⁱ	147,45	Aa ⁱⁱ	193,37	Bb ⁱ	>400	Ca ⁱ	95,43	Aa ⁱ
50	274,25	Bb ⁱⁱ	>400	Ca ⁱ	177,54	Ab ⁱⁱ	186,40	Ba ⁱ	>400	Ca ⁱ	111,95	Ab ⁱ
60	318,06	Bc ⁱⁱ	>400	Ca ⁱ	229,60	Ac ⁱⁱ	240,37	Bc ⁱ	>400	Ca ⁱ	132,41	Ac ⁱ
70	346,79	Bd ⁱⁱ	>400	Ca ⁱ	281,95	Ad ⁱⁱ	272,29	Bd ⁱ	>400	Ca ⁱ	290,03	Ad ⁱ

Os valores de GI₅₀ correspondem à concentração da amostra atingindo 50% de atividade antitumoral.

^{A,B,C} Médias de uma característica, seguidas de letra maiúscula na linha para os mesmos métodos de extração, não diferem entre si pelo teste de Student-Newman-Keuls (SNK) a 0,05 de significância.

^{a,b,c} Médias de uma característica, seguidas de letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Student-Newman-Keuls (SNK) a 0,05 de significância.

^{i,ii} Médias de uma característica, seguidas de mesmo caráter na linha para folha, galho e periderme, não diferem entre si pelo teste de Student-Newman-Keuls (SNK) a 0,05 de significância.

4. CONCLUSÃO

A temperatura de secagem exerce ação sobre a variedade de compostos fenólicos presentes em *C. urucurana* Baill.

As folhas, galhos e periderme de *C. urucurana* Baill têm potencial atividade antioxidante, que auxilia na neutralização dos radicais livres

Os extratos hidroetanólicos e decocção das folhas, galhos e periderme de *C. urucurana* Baill apresentam boa atividade antimicrobiana frente aos isolados fúngicos e bacterianos testados.

O presente estudo mostrou que os extratos hidroetanólicos e decocção das folhas e periderme de *C. urucurana* Baill apresentaram atividade citotóxica contra as linhagens de célula tumorais NCL H460, HeLa, HepG2 e MCF7 e têm potencial anti-inflamatório.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHKAR, M. T. et al. Propriedade antioxidante de compostos fenólicos: importância na dieta e na conservação de alimentos. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, [s. l.], v. 11, n. 2, p. 398–406, 2013. Disponível em: <<http://www.revistas.unincor.br/index.php/revistaunincor/article/view/1151>>

ALMEIDA, A. A. P. **Atividade antimicrobiana de extratos e de compostos fenólicos e nitrogenados do café: avaliação in vitro e em modelo alimentar**. 2007. Universidade Federal de Minas Gerais, [s. l.], 2007.

BARROS, L. et al. Antimicrobial activity and bioactive compounds of Portuguese wild edible mushrooms methanolic extracts. **European Food Research and Technology**, [s. l.], v. 225, n. 2, p. 151–156, 2007. Disponível em: <[internal-pdf://224.118.33.193/Actividad antimicrobiana extractos metanolicos.pdf](internal-pdf://224.118.33.193/Actividad%20antimicrobiana%20extractos%20metanolicos.pdf)> LB - Barros2006%5Cnhttp://dx.doi.org/10.1007/s00217-006-0394-x>

BISCARO, F. et al. Anticancer activity of flavonol and flavan-3-ol rich extracts from *Croton celtidifolius* latex. **Pharmaceutical Biology**, [s. l.], v. 51, n. 6, p. 737–743, 2013.

CARVALHO, S. et al. Mortalidade e comprometimento do desenvolvimento de *Zabrotes subfasciatus* Boh. (Coleoptera: Chrysomelidae), induzido pelo extrato de sangra d'água *Croton urucurana* Baill. (Euphorbiaceae). **Comunicata Scientiae**, [s. l.], v. 5, n. 3, p. 331–338, 2014.

CHAIKOUSKI, A. et al. Determinação da quantidade de compostos fenólicos totais presentes em extratos líquido e seco de erva-mate (*Ilex paraguariensis*). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, [s. l.], v. 16, n. 1, p. 33–41, 2014.

CHENG, J.; AGARWAL, R.; LU, J. Anti-Angiogenic Potential of a Cancer Chemopreventive Flavonoid Antioxidant, Silymarin: Inhibition of Key Attributes of Vascular Endothelial Cells and Angiogenic Cytokine Secretion by Cancer Epithelial Cells. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, [s. l.], v. 276, n. 1, p. 371–378, 2000. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0006291X00934740>>

CORDEIRO, K. W. et al. Anti-inflammatory and antinociceptive activities of *Croton urucurana* Baillon bark. **Journal of Ethnopharmacology**, [s. l.], v. 183, p. 128–135, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jep.2016.02.051>>

DJOUAHRI, A. et al. In vitro synergistic/antagonistic antibacterial and anti-inflammatory effect of various extracts/essential oil from cones of *Tetraclinis articulata* (Vahl) Masters with antibiotic and anti-inflammatory agents. **Industrial Crops and Products**, [s. l.], v. 56, p. 60–66, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.02.035>>

DUARTE-ALMEIDA, J. M. et al. Avaliação da atividade antioxidante utilizando sistema β -caroteno / ácido linoleico e método de sequestro de radicais DPPH •. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, [s. l.], v. 26, n. 2, p. 446–452, 2006.

DZAMIC, A. et al. Chemical composition and antifungal activity of *Illicium verum* and *Eugenia caryophyllata* essential oils. **Chemistry of Natural Compounds**, [s. l.], v. 45, n. 2, p. 259–261, 2009. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s10600-009-9283-4>>

FLAMBÓ, D. F. A. L. P. **Atividades biológicas dos flavonoides: atividade antimicrobiana**. 2013. Universidade Fernando Pessoa, [s. l.], 2013.

FRANCO, E. A. P.; BARROS, R. F. M. Uso e diversidade de plantas medicinais no Quilombo Olho D'água dos Pires, Esperantina, Piauí. **Revista Brasileira de P**, [s. l.], v. 8, n. 3, p. 78–88, 2004.

GONELI, A. L. D. et al. Modelagem matemática e difusividade efetiva de folhas de aroeira durante a secagem. **Pesquisa agropecuária tropical**, [s. l.], v. 44, n. 1, p. 56–64, 2014.

GRAÇA, V. C. et al. Chemical characterization and bioactive properties of aqueous and organic extracts of *Geranium robertianum* L. **Food & Function**, [s. l.], v. 7, n. 9, p. 3807–3814, 2016. Disponível em: <<http://xlink.rsc.org/?DOI=C6FO01075J>>

HAÏDARA, K. et al. The flavonoid Casticin has multiple mechanisms of tumor cytotoxicity action. **Cancer Letters**, [s. l.], v. 242, n. 2, p. 180–190, 2006.

HORST, H. **Análise química e biológica dos constituintes fenólicos de Croton celtidifolius baill.** 2008. Universidade Federal de Santa Catarina, [s. l.], 2008.

HUANG, J. H. et al. Protective effects of myricetin against ultraviolet-B-induced damage in human keratinocytes. **Toxicology in Vitro**, [s. l.], v. 24, n. 1, p. 21–28, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tiv.2009.09.015>>

HUBER, L. de A. **Avaliação da Atividade Antitumoral do Extrato de Sangra d'Água frente à Linhagem Humana de Câncer de Pulmão de Células não Pequenas a549 (Adenocarcinoma)**. 2010. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, [s. l.], 2010.

KOCHE, D. et al. Phytochemical screening of eight traditionally used ethnomedicinal plants from akola district (MS) India. **International Journal of Pharma and Bio Sciences**, [s. l.], v. 1, n. 4, p. B-253-B-256, 2010.

LING-ZHI, L. et al. Apigenin Inhibits VEGF Expression and Angiogenesis in Human Lung Cancer Cells: Implication of chemoprevention of lung cancer. **Molecular Pharmacology**, [s. l.], v. 9, 2005. Disponível em: <<http://molpharm.aspetjournals.org/cgi/doi/10.1124/mol.105.011254>>

LUIZ, J. et al. Essential oil of *Croton urucurana* Baillon (Euphorbiaceae) Stem Bark. **J. Braz. Chem. Soc.**, [s. l.], v. 18, n. 5, p. 879–885, 2007.

MACIEL, M. A. M. et al. Plantas Medicinais: A necessidade de estudos multidisciplinares. **Química Nova**, [s. l.], v. 25, n. 3, p. 429–438, 2002.

OLIVEIRA, A. R. **Avaliação do efeito da secagem de folhas de *Passiflora edulis*, em estufa com circulação de ar, sobre o rendimento de flavonoides**. 2011. Universidade

Estadual da Paraíba, [s. l.], 2011.

PERES, M.T. L. et al. Chemical composition and antimicrobial activity of *Croton urucurana* Baillon (Euphorbiaceae). **Journal of Ethnopharmacology**, [s. l.], v. 56, n. 3, p. 223–226, 1997. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378874197000391>>

PINELA, J. V. S. **Efeito do processo de secagem no potencial antioxidante e na composição fitoquímica de plantas medicinais da família Fabaceae**. 2012. Instituto Politécnico de Bragança, [s. l.], 2012.

PIZZOLATTI, M. G. et al. Clerodane diterpenes from bark of *Croton urucurana* Baillon. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, [s. l.], v. 24, n. 4, p. 609–614, 2013.

PRIYADARSINI, R.V. et al. The flavonoid quercetin induces cell cycle arrest and mitochondria-mediated apoptosis in human cervical cancer (HeLa) cells through p53 induction and NF- κ B inhibition. **European Journal of Pharmacology**, [s. l.], v. 649, n. 1–3, p. 84–91, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejphar.2010.09.020>>

RAO, V. S. et al. Dragon's blood from *Croton urucurana* (Baill.) attenuates visceral nociception in mice. **Journal of Ethnopharmacology**, [s. l.], v. 113, n. 2, p. 357–360, 2007.

RAVANELLI, N. et al. Alkaloids from *Croton echinocarpus* Baill.: Anti-HIV potential. **South African Journal of Botany**, [s. l.], v. 102, p. 153–156, 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0254629915003336>>

SALATINO, A; SALATINO, M. L. F.; NEGRI, G. Traditional uses, chemistry and pharmacology of *Croton* species (Euphorbiaceae). **Journal of the Brazilian Chemical Society**, [s. l.], v. 18, n. 1, p. 11–33, 2007.

SILVA, S. C. de S. et al. Perfil fitoquímico, susceptibilidade antibacteriana e capacidade antioxidante das folhas de *Croton urucurana* Baillon (Euphorbiaceae). **Infarma - Ciências Farmacêuticas**, [s. l.], v. 29, n. 3, p. 264, 2017. Disponível em: <[http://revistas.cff.org.br/?journal=infarma&page=article&op=view&path\[\]=2075](http://revistas.cff.org.br/?journal=infarma&page=article&op=view&path[]=2075)>

SOLDERA, C. C.; ZANELLA, G. N.; FRASSON, A. P. Z. Avaliação da atividade antibacteriana de *Croton urucurana*. **Revista Contexto Saúde**, [s. l.], v. 10, n. 19, p. 25–31, 2010.

SOUSA, F. et al. Predição de modelos sobre a cinética de secagem de folhas de *Ziziphus joazeiro* Mart. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, [s. l.], v. 17, n. 2, p. 195–200, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-05722015000200195&lng=pt&tlng=pt>

SOUZA, C. D. de; FELFILI, J. M. Uso de plantas medicinais na região de Alto Paraíso de Goiás, GO, Brasil. **Acta Botânica Brasileira**, [s. l.], v. 20, n. 1, p. 135–142, 2006.

SOUZA, M. M. de et al. Avaliação da atividade antifúngica de extratos fenólicos de cebola, farelo de arroz e microalga *Chlorella pyrenoidosa*. **Ciencia e Tecnologia de**

Alimentos, [s. l.], v. 30, n. 3, p. 680–685, 2010.

SOUZA, M. M. de et al. Avaliação das atividades antifúngica e antimicotoxina de extratos fenólicos de farelo de arroz. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, [s. l.], v. 71, n. 3, p. 437–441, 2012.

SOUZA, V. C. de. **Estudos quantitativos de compostos antioxidantes em sangra-d'água (*Croton urucurana* Baill.)**. 2013. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia - Câmpus Rio Verde Goiano, [s. l.], 2013.

TABALDI, L. A. et al. Cover crops and their effects on the biomass yield of *Serjania marginata* plants. **Ciência Rural**, [s. l.], v. 42, n. 4, p. 614–620, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782012000400006&script=sci_arttext>

TASSO, M. J.; SOUZA, A. O. de; DORTA, D. J. **Avaliação da citotoxicidade do flavonoide kaempferol em células HepG2**. 2011. Universidade de São Paulo, [s. l.], 2011.

VERDE, G. M.V.; PAULA, J. R.; CANEIRO, D. M. Levantamento etnobotânico das plantas medicinais do cerrado utilizadas pela população de Mossâmedes (GO). **Revista Brasileira de Farmacognosia**, [s. l.], v. 13, n. 0102–695X, p. 64–66, 2003.

VIEIRA, G. T. et al. Atividade citotóxica do extrato de *Croton urucurana* Baill. contra linhagens de células leucêmicas humanas U937 E THP1. **Ciência e Natura**, [s. l.], v. 39, n. 3, p. 512, 2017. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/23281>>

WOLFF CORDEIRO, K. et al. Antiulcerogenic effect of *Croton urucurana* Baillon bark. **Journal of Ethnopharmacology**, [s. l.], v. 143, n. 1, p. 331–337, 2012. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378874112004448>>

6. CONCLUSÃO GERAL

O modelo matemático proposto por Cavalcanti Mata entre aqueles que foram testados foi o que apresentou melhor ajuste aos dados experimentais da cinética de secagem das folhas de *C. urucurana* Baill.

O aumento da temperatura do ar de secagem promove redução no tempo necessário para a remoção de água das folhas de *C. urucurana* Baill. durante a secagem.

Para as temperaturas estudadas, houve aumento do coeficiente de difusão efetivo com a elevação da temperatura do ar de secagem, e esta relação pode ser descrita pela equação de Arrhenius, que apresentou energia de ativação para a difusão líquida, durante a secagem, de $57,21 \text{ kJ mol}^{-1}$.

Foram identificados mais de 25 compostos fenólicos com base nos extratos hidroetanólicos e decocção de *C. urucurana* Baill. em função das diferentes temperaturas de secagem.

A temperatura de secagem exerce ação sobre a variedade de compostos fenólicos presentes em *C. urucurana* Baill., reduzindo a quantidade quando em maiores temperaturas de secagem, acima de $70 \text{ }^\circ\text{C}$.

A temperatura de secagem não inibiu as principais bioatividades testadas para os extratos de folhas, galhos e periderme de *C. urucurana* Baill., apresentando estes extratos potencial atividade antioxidante, antimicrobiana, antitumoral e anti-inflamatória.

O presente estudo mostrou que os extratos hidroetanólicos e decocção das folhas e periderme de *C. urucurana* Baill. apresentaram atividade citotóxica contra as linhagens de célula tumorais NCL H460, HeLa, HepG2 e MCF7 e têm potencial anti-inflamatório.