UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

DESCRIÇÃO DA CINÉTICA E DO EFEITO DA SECAGEM SOBRE A COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE FOLHAS E FRUTOS DE *Solanum paniculatum* L.

ELTON APARECIDO SIQUEIRA MARTINS

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2019

DESCRIÇÃO DA CINÉTICA E DO EFEITO DA SECAGEM SOBRE A COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE FOLHAS E FRUTOS DE *Solanum paniculatum* L.

ELTON APARECIDO SIQUEIRA MARTINS
Engenheiro Agrícola

Orientador: PROF. DR. ANDRÉ LUIS DUARTE GONELI

Tese apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutor.

Dourados
Mato Grosso do Sul
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

M386d Martins, Elton Aparecido Siqueira

Descrição da cinética e do efeito da secagem sobre a composição química de folhas e frutos de Solanum paniculatum L. [recurso eletrônico] / Elton Aparecido Siqueira Martins. -- 2019.

Arquivo em formato pdf.

Orientador: ANDRÉ LUIS DUARTE GONELI.

Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2019.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em: https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio

1. Alcaloides totais. 2. atividade antioxidante. 3. compostos fenólicos. 4. jurubeba. 5. modelo de Midilli. I. Goneli, André Luis Duarte. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

DESCRIÇÃO DA CINÉTICA E DO EFEITO DA SECAGEM SOBRE A COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE FOLHAS E FRUTOS DE *Solanum paniculatum* L.

por

Elton Aparecido Siqueira Martins

Tese apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de
DOUTOR EM AGRONOMIA

Aprovado em: 28/02/2018

Prof.ª Dr.ª Claúdia Andréa Lima Cardoso
Membro – UEMS

Prof.ª Dr.ª Cristiane Bezerra da Silva
Membro – UFGD/FCA

Prof.ª Dr.ª Maria do Cramo Vieira
Membro – UFGD/FCA

Prof. Dr. Valdiney Cambuy Siqueira
Membro – UFGD/FCA

Prof. Dr. André Luis Duarte Goneli
Orientador – UFGD/FCA

Dedico aos meus pais:

Durval Miranda Martins

e

Roseli Aparecida Siqueira Martins

Ofereço:

À Minha esposa Aline de Carvalho Jorge

À Minha Irmã Juliana Siqueira Martins

À minha sobrinha e afilhada Alana Siqueira Martins

AGRADECIMENTOS

À Deus por proporcionar o dom da vida, saúde e um caminho repleto de oportunidades para serem alcançadas.

Aos meus pais, Durval Miranda Martins e Roseli Aparecida Siqueira Martins, por todo apoio e incentivo em todas as etapas de minha vida.

À minha esposa, Aline de Carvalho Jorge, pelo companheirismo, apoio e incentivo durante essa caminhada.

À minha irmã Juliana Siqueira Martins e minha sobrinha Alana Siqueira Martins, pelos momentos de alegria e apoio.

À Universidade Federal da Grande Dourados e ao Programa de Pós Graduação em Agronomia e seu corpo docente, pela oportunidade do desenvolvimento desta pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa para a realização desta pesquisa.

Ao meu orientador e amigo Prof. Dr. André Luis Duarte Goneli, pela oportunidade de trabalho oferecida durante o mestrado e estendida até o doutorado, transmitindo seu conhecimento durante toda essa jornada, sanando dúvidas e sempre disposto a discutir ideias para o desenvolvimento de nossos trabalhos, e pelas conversas como amigo.

À Prof.ª Dr.ª Claudia Andréa Lima Cardoso pela sua valiosa atenção e contribuição com analises dos extratos aquosos realizadas neste trabalho, além dos vários momentos que dedicou a sanar dúvidas e por disponibilizar o seu laboratório para executar as analises químicas.

À Gabriela Lessa pela ajuda na condução das análises químicas realizadas nas dependências dos Laboratórios do curso de Química da UEMS.

À Prof.ª Dr.ª Cristiane Bezerra da Silva, pela amizade e pela imensa ajuda para a identificação fitoquímica das substâncias presentes nas folhas e frutos de jurubeba.

À professora Marilene Sarragioto e Marcia Regina Cabral, do Departamento de Química da Universidade Estadual de Maringá, pela colaboração para realizar a identificação das substâncias presentes nos extratos etanólicos das folhas e frutos de jurubeba.

Ao meu amigo Alexandre Alves Gonçalves, pela amizade e auxílio na execução da secagem das folhas e frutos de jurubeba.

Ao meu amigo Prof. Dr. Valdiney Cambuy Siqueira pela amizade, pelas muitas conversas que vieram a contribuir com a execução deste trabalho e pelos trabalhos que desenvolvemos em parceria.

Ao meu amigo Prof. Dr. Rodrigo Aparecido Jordan, pela amizade de longa data e pelas inúmeras conversas de cunho profissional e de descontração.

À minha amiga Prof.ª Dr.ª Vanderleia Schoeninger, pela sua amizade, apoio ao desenvolvimento deste trabalho, e nossas muitas conversas.

À Prof.ª Dr.ª Maria do Carmo Vieira e ao mestrando Wellington R. de Oliveira, pelo auxílio técnico para a produção das mudas de jurubeba.

Aos meus colegas de trabalho, Elisangela Dupas, Dacley H. Neu, Cleonice C. Hilbig, Claucia A. H. da Silva, Fabricio C. de Oliveira, Natanael T. Yamamoto, Arthur Carniato Sanches, Eder P. Gomes, Guilherme A. Biscaro, Rodrigo C. Santos, Mábio S. J. da Silva, Luciano O. Geisenhoff, Alzira G. S. Pause e Mariana Z. Toledo pelos bons momentos que dividimos diariamente, e em especial a minha amiga e colega de sala Sheila N. de Oliveira.

Aos meus colegas de pós graduação Sálvio N. S. Arcoverde, Rogério M. Melo, Heldo D. V. R. Aran, Cesar P. Hartmann Filho, Guilherme C. Oba, Wellington D. Quequeto, Cristiane D. Paier e Cristiane F. B. Santos.

Aos acadêmicos do curso de Engenharia Agrícola Tiago S. Silva, Caroline F. Albuquerque e Alfredo D. L. Diaz pelo auxilio na condução da secagem dos frutos de jurubeba.

Enfim, não é possível citar todos que participaram desta caminhada, mas agradeço a todos que contribuíram de uma forma ou de outra para a concretização deste trabalho.

SUMÁRIO

Página

RESUMO viii

ABSTRACT ix

1. INTRODUÇÃO GERAL 1

1.1. DESCRIÇÃO DA JURUBEBA E SEUS USOS 3

1.2. SECAGEM DE PLANTAS MEDICINAIS 5

2. OBJETIVO GERAL 7

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 8

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 8

CAPíTULO I 13

CINÉTICA De SECAGEM DE FOLHAS DE S*olanum paniculatum* L. 13

1. INTRODUÇÃO 13

2. MATERIal E MÉTODOS 15

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO 20

4. CONCLUSÕES 27

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 28

CAPíTULO II 32

CINÉTICA DE SECAGEM DE FRUTOS DE *solanum paniulatum* L. EM DIFERENTES ESTÁGIOS DE MATURAÇÃO 32

1. INTRODUÇÃO 32

2. MATERIAL E MÉTODOS 34

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO 40

4. CONCLUSÕES 46

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 46

CAPÍTULO III 49

COMPOSIÇÃO QUÍMICA E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DOS EXTRATOS AQUOSOS DE FOLHAS E FRUTOS DE *Solanum paniculatum* L. SUBMETIDOS À SECAGEM 49

1. INTRODUÇÃO 49

2. MATERIAL E MÉTODOS 51

2.1. OBTENÇÃO E SECAGEM DO MATERIAL VEGETAL.....51

2.2. ANALISE DO EXTRATO AQUOSO DAS FOLHAS E FRUTOS DE JURUBEBA 53

2.2.1. Preparo dos extratos aquosos das folhas e frutos de jurubeba.....53

2.2.2. Determinação do teor de compostos fenólicos 54

2.2.3. Determinação da atividade antioxidante 54

2.2.4. Teor de alcaloides totais 55

2.4. ANALISE ESTATÍSTICA.....56

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO 57

3.1. ANALISE Dos extratos aquosos DAS FOLHAS DE JURUBEBA.....57

3.2. ANALISE DoS EXTRATOS AQUOSOS DOS FRUTOS DE JURUBEBA..61

4. CONCLUSÕES.....66

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 67

CAPíTULO IV.....71

IDENTIFICAÇÃO DAS SUBSTÂNCIAS PRESENTES NO EXTRATO ETANÓLICO DAS FOLHAS E FRUTOS DE JURUBEBA SUBMETIDOS À SECAGEM.....71

1. INTRODUÇÃO.....71

2. MATERIAL E MÉTODOS 72

2.1. OBTENÇÃO E SECAGEM DO MATERIAL VEGETAL.....72

2.2. PREPARO DO EXTRATO ETANÓLICO BRUTO.....74

2.3. IDENTIFICAÇÃO DOS COMPOSTOS POR UHPLC-MSMS 74

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO 75

3.1. IDENTIFICAÇÃO DAS SUBSTÂNCIAS DOS EXTRATOS ETANÓLICOS DAS FOLHAS E FRUTOS DE JURUBEBA 75

3.2. ALTERAÇÕES NA CONSTITUIÇÃO QUÍMICA DOS EXTRATOS ETANÓLICOS DAS FOLHAS E FRUTOS DE JURUBEBA SUBMETIDAS A SECAGEM.....82

4. CONCLUSÕES.....86

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 86

CONCLUSÕES GERAIS.....92

ANEXOS 93

MARTINS, E. A. S. **Descrição da cinética e do efeito da secagem sobre a composição química de folhas e frutos de *Solanum paniculatum* L.** 2019. 96 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

RESUMO

O uso de plantas medicinais para prevenção e tratamento de doenças é uma prática antiga e com seus benefícios conhecidos de longa data. Um exemplo de planta medicinal é a *Solanum paniculatum* L. (jurubeba), cujas folhas, frutos e raízes são utilizados na medicina tradicional, para o tratamento de problemas hepáticos, além de ser usada como colagogo, emenagoga, cicatrizante, febrífugo, anti-inflamatório, antipirético, tônica, descongestionante, diurética e na inapetência, sendo o mais comum o preparo/uso na forma de infusão (extratos aquosos) de folhas e frutos dessa planta. As partes aéreas de plantas medicinais, normalmente, possuem elevado teor de água, de modo que se faz necessário a remoção do excesso por meio da secagem, visando proporcionar condições adequadas para a manutenção da qualidade do material durante o armazenamento até o seu processamento ou consumo. Diante do exposto, objetivou-se com o presente estudo avaliar a cinética de secagem de folhas e frutos (verdes e maduros) de jurubeba, bem como avaliar o efeito da secagem na composição química dos extratos aquosos e etanólicos obtidos dessas partes da planta. As folhas de jurubeba foram secas em diferentes temperaturas (40, 50, 60 e 70 °C) e velocidades (0,4 e 0,8 m s^{-1}) do ar de secagem, já os frutos foram secos nos estágios de maturação verde e maduro, nas temperaturas do ar de 40, 50, 60 e 70 °C e velocidade de 1,5 m s^{-1}. Os extratos aquosos das folhas e frutos, submetidos à secagem, foram preparados na forma de infusão e submetidos à análise por meio de espectrometria. Já os extratos etanólicos foram avaliados por meio de cromatografia líquida de ultra eficiência acoplada a espectrômetro de massas (UHPLC-MSMS). De acordo com os resultados obtidos, o modelo de Midilli foi o único modelo adequado para representar a cinética de secagem das folhas e dos frutos (verdes e maduros) para todas as condições do ar de secagem. Com o aumento da temperatura do ar, houve redução do tempo de secagem das folhas e dos frutos de jurubeba. O aumento da velocidade do ar contribuiu para a redução do tempo de secagem das folhas, e os frutos verdes demandam um menor tempo para o processo de secagem em relação aos frutos maduros. Com relação a avaliação dos extratos aquosos preparados com as folhas, o aumento da temperatura do ar de secagem reduziu o teor de compostos fenólicos e alcaloides totais desses extratos, enquanto que o aumento da velocidade do ar proporcionou maior teor dessas substâncias; já a atividade antioxidante não foi influenciada pelo incremento da temperatura quando a secagem foi realizada utilizando a velocidade do ar de 0, 4 m s^{-1}, enquanto que para a secagem com a velocidade do ar de 0,8 m s^{-1} houve redução com o aumento da temperatura. Já para os extratos aquosos dos frutos, o incremento da temperatura do ar proporcionou o aumento do teor de compostos fenólicos e da atividade antioxidante, e redução do teor de alcaloides totais. Os extratos aquosos dos frutos maduros possuem maior atividade antioxidante e teor de compostos fenólicos, e menor teor de alcaloides totais em relação aos extratos aquosos dos frutos verdes. Com relação aos extratos etanólicos brutos, foi verificado que as condições do ar de secagem interferem na composição química das folhas e frutos, verdes e maduros, de jurubeba.

Palavras-chave: Alcaloides totais; atividade antioxidante; compostos fenólicos; jurubeba; modelo de Midilli.

MARTINS, E. A. S. **Description of kinetics and drying effect on the chemical composition of leaves and fruits of *Solanum paniculatum* L.** 2019. 96 f. Thesis (Doctorate in Vegetable production) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

ABSTRACT

The use of medicinal plants for disease prevention and treatment is an ancient practice and with its long-standing benefits known. An example of a medicinal plant is Solanum paniculatum L. (jurubeba), whose leaves, fruits and roots are used in traditional medicine, for the treatment of liver problems, besides being used as a cholagogue, emenagoga, cicatrizante, febrífugo, anti-inflammatory , antipyretic, tonic, decongestant, diuretic and inappetence, the most common being the preparation / use as infusion (aqueous extracts) of leaves and fruits of this plant. The aerial parts of medicinal plants usually have a high water content, so that it is necessary to remove the excess through drying, in order to provide adequate conditions for the maintenance of the quality of the material during the storage until its processing or consumption. The present study aimed to evaluate the kinetics of drying of leaves and fruits (green and mature) of jurubeba, as well as to evaluate the effect of drying on the chemical composition of the aqueous and ethanolic extracts obtained from these parts of the plant. Jurubeba leaves were dried at different temperatures (40, 50, 60 and 70 °C) and velocities (0.4 and 0.8 m s^{-1}) of the drying air, while the fruits were dried in the green maturation stages and mature at 40, 50, 60 and 70 °C air temperatures and 1.5 m s^{-1} velocity. The aqueous extracts of the leaves and fruits, submitted to drying, were prepared as infusion and submitted to analysis by means of spectrometry. The ethanolic extracts were evaluated by ultra-high performance liquid chromatography coupled to a mass spectrometer (UHPLC-MSMS). According to the results obtained, the Midilli model was the only suitable model to represent the drying kinetics of leaves and fruits (green and mature) for all drying air conditions. As for the aqueous extracts of the fruits, the increase of the air temperature provided the increase of the phenolic compounds content and the antioxidant activity, and reduction of the total alkaloids content. The increase of the air velocity contributed to the reduction of the drying time of the leaves, and the green fruits demand a less time for the drying process in relation to the mature fruits. With regard to the evaluation of the aqueous extracts prepared with the leaves, the increase of the temperature of the drying air reduced the content of phenolic compounds and total alkaloids of these extracts, whereas the increase of the velocity of the air provided higher content of these substances; the antioxidant activity was not influenced by the increase in temperature when the drying was performed using the air velocity of 0.4 m s^{-1}, while for drying with the air velocity of 0.8 m s^{-1}, there was reduction with increasing temperature. The aqueous extracts of mature fruits have higher antioxidant activity and phenolic content, and lower total alkaloids content in aqueous extracts of green fruits. With respect to crude ethanol extract was found that the drying air conditions interfering with the chemical composition of leaves and fruits, green and mature, jurubeba.

Key words: Antioxidant activity; jurubeba, Midilli model; phenolic compounds; total alkaloids.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A adesão ao uso de plantas medicinais para a prevenção e tratamentos de doenças em muitos casos ocorre devido a alguns motivos, como a decepção/insatisfação com os resultados obtidos em tratamentos com a medicina convencional, por parte da população mundial não ter acesso aos medicamentos e à medicina institucionalizada, ao conhecimento sobre o uso de plantas medicinais transmitidos entre as gerações e a busca por produtos naturais (RATES, 2001).

Na maioria dos países em desenvolvimento, principalmente os da Ásia, África, América Latina e Oriente Médio, de 70 a 95% da população usam a medicina tradicional, incluindo preparados a base de plantas medicinais, para cuidar da saúde e como cuidados de saúde primários (WHO, 2011).

No Brasil, devido à sua ampla diversidade de espécies vegetais, bem como a riqueza étnico-cultural, o uso popular de plantas medicinais é muito relevante (SANTOS et al., 2008). O interesse por produtos com potencial terapêutico, condimentares e aromáticos vem crescendo a cada dia, tanto no Brasil como no exterior (MARTINAZZO et al., 2007).

Dentre as inúmeras espécies vegetais existentes na flora brasileira uma das plantas que apresentam uso considerável, devido às suas propriedades medicinais e até mesmo para fins alimentícios (conservas e bebidas) é a *Solanum paniculatum* L. (Solanaceae). A planta é um arbusto de até 3 m de altura, conhecida popularmente como jurubeba verdadeira, jurupeba, juribeba (GRANDI, 2014), ou jurubeba. A espécie é nativa do Brasil e ocorre em todo o território nacional e em outras partes da América do Sul (VAZ, 2012).

Basicamente, todas os órgãos da jurubeba são usadas para fins medicinais, e apesar do uso da raiz ser popular, as folhas e frutos da jurubeba são muito utilizados, visto que para a obtenção da raiz, normalmente tem-se que extrair a planta, o que nem sempre é possível. Assim, o uso das folhas e frutos é de mais fácil acesso a população para uso com fins medicinais.

As principais partes utilizadas das plantas medicinais, no geral, são as partes áreas, como as folhas, frutos e flores. As estruturas das plantas medicinais, principalmente as aéreas, possuem elevado teor de água. A água é a principal responsável pelo aumento de atividades metabólicas e mudanças químicas e físicas que ocorrem no produto durante o seu armazenamento até o momento do processamento ou

consumo, sendo assim, é de fundamental importância para a manutenção da qualidade das plantas medicinais após a colheita, a redução de seu teor de água por meio da secagem (GONELI et al., 2014).

Logo, a secagem de plantas medicinais é procedida com a finalidade de prepara-las para um armazenamento seguro, garantindo-lhe a permanência de suas propriedades medicinais, visando atender as necessidades das indústrias farmacêuticas de fitoterápicos, as quais não têm meios de utilizar plantas frescas na quantidade exigida para a produção industrial (LORENZI e MATOS, 2008).

Devido à importância da redução do teor de água de plantas medicinais, diversos pesquisadores tem estudado a cinética de diferentes espécies visando caracterizar suas curvas de secagem. Como exemplo, tem-se o capim limão (MARTINAZZO et al., 2007), carqueja (RADÜNZ et al.; 2011), folhas de fruta-de-lobo (PRATES et al., 2012), manjericão (REIS et al., 2012), folhas de aroeira (GONELI et al., 2014), folhas de hortelã pimenta (GASPARIN et al., 2017); folhas de *Cymbopogon citratus* (GOMES et al., 2017); folhas de pata de vaca (SILVA et al., 2017); e folhas de *Hyptis suaveolens* (ALVES et al., 2017).

As informações contidas nas curvas de secagem de plantas medicinais são muito importantes, pois permite estimar o tempo gasto para realizar o processo, visando assim o adequado planejamento operacional e otimização desta etapa, além da estimativa do custo do processo para fins industriais. Porém para tomar a decisão de qual temperatura/método de secagem deve ser empregado, é necessário conhecer os efeitos destes fatores na qualidade e teor de metabólitos secundários do material em questão, para que seja possível submeter o produto a condições de secagem que proporcionem a menor degradação da qualidade e dos teores de metabólitos secundários no material, podendo realizar essa etapa pós-colheita de maneira mais eficiente, além de buscar o máximo rendimento/preservação dos compostos químicos presentes.

Até o momento, são bastante incipientes os trabalhos que envolvam a análise do efeito da secagem sobre a manutenção da composição química de plantas medicinais. Visto a importância da jurubeba (*Solanum paniculatum* L.) e a necessidade de informações sobre a variação de sua composição química em função de diferentes condições para realizar a desidratação de suas partes (folhas e frutos), faz-se necessário o estudo das etapas pós-colheita desse produto correlacionando com a manutenção da composição química do mesmo.

1.1. DESCRIÇÃO DA JURUBEBA E SEUS USOS

A *Solanum paniculatum* L. pertence a família botânica Solanaceae, é uma planta nativa do Brasil, ocorrendo em todas as regiões do país, é popularmente conhecida como jurubeba, jurubeba-verdadeira, jurupeba, juribeba, dentre outras sinonímias vulgar. A jurubeba é uma planta perene, de porte arbustivo, ereto, ramificada, com altura variando entre 1,5 a 2,5 m e possui espinhos. Suas folhas são simples, inteiras ou variavelmente lobadas, coriáceas, glabras na face superior e branco-tomentosas na inferior (GRANDI, 2014; AGRA et al., 2009; LORENZI e MATOS, 2008). As flores de jurubeba apresentam como características a coloração lilás ou alva, são monoclinas e estaminadas, com cálice campanulado e sépalas e pétalas soldadas na base (AGRA et al., 2009).

Os frutos de jurubeba são bagas com formato esférico ou ovalados, e quando maduros apresentam cor verde-amarelada (LORENZI e MATOS, 2008), porém normalmente são consumidos verdes, pois quando maduros suas sementes são duras e fibrosas, conforme explica BRASIL (2015a) para outra espécie da família Solanaceae, a *Solanum scuticum* M. Nee, a qual é muito semelhante a *Solanum paniculatum* L.

A jurubeba é uma planta muito conhecida no Brasil, sendo que um dos motivos da popularidade dessa planta é devido ao seu uso na culinária, onde os frutos são utilizados na alimentação humana em muitas regiões do país, sendo consumidos em omeletes, usados no preparo de conservas (na forma de picles), e de bebidas, como aditivos em aguardente (MACHADO et al., 2014; LORENZI e MATOS, 2008).

A jurubeba também destaca-se pelo seu uso na medicina tradicional, sendo vastamente relatado na literatura, inclusive consta na "Farmacopeia Brasileira" (BRASIL, 1959). Em 2015, foi publicada a "Monografia da espécie *Solnaum paniculatum* (Jurubeba)" (BRASIL, 2015b), com uma descrição completa da planta, identificação de seus metabólitos secundários e estudos sobre suas aplicações medicinais. Além de constar como uma das plantas de interesse medicinal ao SUS - RENISUS (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2019).

Popularmente, são usadas as folhas, frutos e raízes da jurubeba, sendo empregados contra problemas hepáticos e digestivos, pois estimula as funções digestivas e reduz o inchaço do fígado e vesícula. A jurubeba também é citada para o uso como colagogo, emenagoga, cicatrizante, febrífugo, antiinflamatório, antipirético, tônica, descongestionante, diurética e na inapetência (GARLET et al., 2017; GRANDI,

2014; KAZIYAMA et al., 2012; LORENZI e MATOS, 2008; MESIA-VELA et al., 2002).

A família Solanaceae contém muitas espécies que apresentam variados níveis de toxicidade, dos quais a *Solanum paniculatum* L. se destaca pela sua aplicação na fitoterapia, devido ao seu efeito bactericida, fungicida e efeitos moluscicidas comprovados (SILVA et al., 2013).

Segundo Lorenzi e Matos (2008) ainda na década de 60, foi identificado, na jurubeba, os componentes ativos esteroides, saponinas, glicosídeos e alcaloides, em que os alcaloides "solanidine" e "solasodine" são atribuídos as propriedades curativas para os problemas hepáticos. Além disso, foram identificados também: taninos, flavanonas, flavanóis, xantonas, flavanonóis, flavonas, leucoantocianidinas, catequinas, alcaloides, saponinas, solanina, glicosídeos, mucilagem, resinas, ceras e ácidos orgânicos (SILVA et al., 2013; KAZIYAMA et al., 2012; LÔBO et al., 2010; GOMES et al., 2011).

O extrato fluido da jurubeba faz parte da formulação de um preparado fitoterápico brasileiro denominado Ierobina®, indicado para o tratamento da dispepsia (indigestão). Além do extrato fluido dessa espécie, fazem parte da formulação deste fitoterápico os extratos fluidos de *Remijia ferruginea* D.C. (Rubiaceae), *Jacaranda caroba* D.C. (Bignoniaceae) e *Erythraea centaurium* (L.) Borkh. (Gentianaceae) (TAGLIATI et al., 2008; BOTION et al., 2005; BRAGA et al., 2003).

Na literatura há relatos do uso específico de cada parte da planta, como por exemplo, os frutos de jurubeba, que são também utilizados na medicina tradicional como antianêmico e contra tuberculose (AGRA et al., 2007; MESIA-VELA et al., 2002). A raiz da jurubeba, preparada na forma de decocção é utilizada contra afecções do fígado, atonia gástrica, inflamação do baço e "vesícula preguiçosa", já o chá das folhas de jurubeba é usado como remédio cotidiano contra ressacas após o consumo exagerado de álcool e comida (LORENZI e MATOS, 2008).

Dentre os diversos usos dessa espécie, Rodrigues e Carvalho. (2001), citam que as raízes de jurubeba, preparadas na forma de infusão, são utilizadas no tratamento do diabetes, icterícia, hepatite, febre e falta de transpiração. Além disso, tem-se que a pomada preparada a partir das folhas é usada como cicatrizante; o suco do fruto no tratamento de problemas de fígado e de estômago, nas inflamações do baço e da bexiga; e a infusão das folhas, frutos e raízes é utilizada contra tumores internos.

1.2. SECAGEM DE PLANTAS MEDICINAIS

A redução do teor de água de produtos agrícolas por meio do processo de secagem envolve a transferência simultânea de calor e massa entre o ar de secagem e o produto a ser seco, na qual o aumento da temperatura do ar provoca o aumento da pressão parcial de vapor do produto, provocando um gradiente de pressão de vapor entre o produto e o ar de secagem, consequentemente, promovendo a remoção da água (PETRY e WEBER, 2015; GONELI et al., 2014; RESENDE et al., 2011; KAYA, et al., 2008).

A secagem de plantas medicinais demanda o uso de secadores que sejam adequados ao processo, com condições de fornecer o ar de secagem com temperatura, velocidade e umidade relativa que proporcione condições para reduzir o teor de água em um curto espaço de tempo e sem afetar a qualidade dos princípios ativos das plantas medicinais (ROCHA et al., 2011). Assim, a secagem artificial de plantas medicinais faz-se necessário, para manter os padrões de qualidade.

Visto a necessidade de proceder à secagem de plantas medicinais, com condições controladas dos parâmetros de secagem, é necessário o estudo experimental do processo de secagem destes produtos. Para que as informações técnicas adquiridas com os estudos experimentais do processo de secagem de produtos agrícolas possam ser utilizadas como parâmetros para aplicações industriais do processo de secagem, é necessário que seja realizada a modelagem matemática da cinética de secagem (PUENTE-DÍAZ et al., 2013).

A modelagem matemática da cinética de secagem é realizada para secagem em camada delgada de produtos agrícolas, a qual consiste em uma camada formada pela espessura de uma unidade do produto. Aos dados observados de processos de secagem em camada delgada de produtos agrícolas, são ajustados modelos matemáticos capazes de descreverem o fenômeno. Esses modelos são classificados em três categorias, os teóricos, semi-teóricos e os empíricos.

Os modelos teóricos consideram apenas a resistência interna do produto à transferência de massa (água) e calor entre o produto e o ar de secagem, já os modelos semi-teoricos e empíricos consideram apenas a resistência externa a transferência de massa entre o produto e o ar. Já os modelos semi-teóricos são os mais utilizados para descrever os processos de secagem em camada delgada de produtos agrícolas. Esses modelos são válidos apenas para predizer o processo de secagem dentro da faixa de

temperatura, umidade relativa, vazão de ar e teor de água para os quais o modelo foi ajustado (MIDILLI et al., 2002; PANCHARIYA et al., 2002; ÖZDEMIR e DEVRES, 1999).

É muito comum realizar a secagem de plantas medicinais em condições de ar ambiente ou baixa temperatura. Em vários trabalhos de pesquisa desenvolvidos com o objetivo de estudar o efeito do processo de secagem nos rendimento de metabólitos secundários de plantas medicinais foi verificado que a secagem utilizando ar ambiente ou à baixas temperaturas (aproximadamente 30 °C), demandam um tempo de secagem significativamente maior do que os tratamentos utilizando ar aquecido. Isso pode tornar o processo de secagem nessas condições inviáveis, devido ao gasto energético para movimentação do ar, além do aumento considerável da probabilidade de desenvolvimento de microrganismos, atividade enzimática e degradação oxidativa no material vegetal, e em casos de plantas que produzem óleos essenciais pode proporcionar a volatilização natural do óleo essencial, além de degradação de seus componentes (ROCHA et al., 2014; RADÜNZ et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2011; RADÜNZ et al., 2010; BARBOSA et al., 2006). Shahhoseini et al. (2013) afirmam que a redução do tempo de secagem ajuda a minimizar o teor de substâncias voláteis que são perdidas durante o processo de secagem.

Segundo Silva e Casali (2000) citado por Melo et al. (2004) outro fator que afeta os princípios ativos durante o processo de secagem de plantas medicinais é a taxa de secagem, pois em um processo com uma taxa de secagem lenta pode proporcionar o aparecimento de microrganismos indesejáveis, já com alta taxa de secagem pode degradar os princípios ativos.

A alta temperatura do ar de secagem também pode causar a desnaturação do princípio ativo de plantas medicinais, conforme observado e explicado por Radünz et al. (2012) e Pin et al. (2009), os quais atribuíram, o baixo teor de cumarina obtidos nas folhas de guaco e a menor concentração de hidroxicavicol e eugenol nas folhas de *Piper betle* L, respectivamente, quando secas na temperatura do ar de 80 °C, à desnaturação térmica devido a alta temperatura decorrente do processo de secagem.

Além da temperatura do ar, outro fator que afeta o teor e qualidade dos princípios ativos de uma planta medicinal durante o processo de secagem é a velocidade do ar de secagem (MELO et al., 2004). Karami et al. (2017) observou que ao submeterem folhas e caules de *Mentha aquatica* L. a diferentes temperaturas (40, 50 e 60 °C) e velocidades (1,0 e 2,0 m s^{-1}) do ar de secagem verificaram que o rendimento de

extração do óleo essencial reduz a medida que eleva-se a temperatura do ar de secagem; constataram também que a velocidade do ar de secagem também influencia no rendimento de óleo essencial de *Mentha aquatica* L., pois obteve-se o maior rendimento quando utilizado a velocidade do ar de 1 m s^{-1}.

Soares et al. (2007), com relação ao efeito da velocidade do ar de secagem, observaram comportamento contrario do relatado por Karami et al. (2017), em que ao avaliarem a influencia de quatro temperaturas (40, 50, 60 e 70 °C) e duas velocidades (0,9 e 1,9 m s^{-1}) sob o rendimento extrativo de óleo essencial de folhas de manjericão verificaram que conforme aumenta-se a temperatura do ar de secagem reduz-se o rendimento extrativo de óleo essencial de manjericão, e constaram, também, que o aumento da velocidade do ar de secagem de 0,9 para 1,9 m s^{-1} proporcionou o aumento do rendimento extrativo de óleo essencial para todas a temperaturas do ar de secagem.

A mesma tendência foi observada por Gasparin et al. (2014) ao realizarem a secagem de folhas de hortelã (*Mentha x Piperita* L.) em cinco temperaturas (30, 40, 50, 60 e 70 °C) e duas velocidades (0,3 e 0,5 m s^{-1}) do ar de secagem. Os autores verificaram que as velocidades do ar de secagem não causaram efeito significativo no rendimento de óleo essencial, porém numericamente, o rendimento de óleo essencial sempre foi maior na velocidade do ar de secagem de 0,5 m s^{-1}.

Para o processo de secagem de plantas medicinais não há uma temperatura definida como a mais adequada para o processo visando a manutenção dos princípios ativos do material, porém em muitos trabalhos, para diversas plantas medicinais, é relatado que a temperatura do ar entre 40 e 50 °C são indicadas para o processo (KARAMI et al., 2017; GASPARIN et al., 2014; CORADI et al., 2014; MARTINAZZO et al., 2013; SHAHHOSEINI et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2011; RADÜNZ et al., 2010; DINIZ et al., 2007; SOARES et al., 2007; RADÜNZ et al., 2006).

2. OBJETIVO GERAL

Objetiva-se com o presente trabalho avaliar as curvas de secagem, para diferentes condições do ar, e seu efeito sobre a composição química das folhas e frutos de jurubeba (*Solanum paniculatum* L.)

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O presente trabalho foi desenvolvido com os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar e determinar a cinética de secagem das folhas e frutos de jurubeba para diferentes condições do ar de secagem;
- Analisar a atividade antioxidante, teores de compostos fenólicos e alcaloides totais de extratos aquosos preparados a partir das folhas e frutos (verdes e maduros) de jurubeba submetidos a diferentes condições do ar de secagem; e
- Identificar as substâncias presentes nos extratos etanólicos preparados a partir de folhas e frutos (verdes e maduros) de jurubeba submetidos a diferentes condições do ar de secagem.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRA, M. de F.; NURIT-SILVA, K.; BERGER, L. R. Flora da Paraíba, Brasil: *Solanum* L. (Solanaceae). **Acta Botanica Brasilica**, v. 23, n. 3, p. 826-842, 2009.

AGRA, M. F.; BARACHO, G. S.; NURIT, K.; BASÍLIO, I.J.L.D.; COELHO, V.P.M. Medicinal and poisonous diversity of the flora of "Cariri Paraibano", Brazil. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 111, n. 2, p. 383-395, 2007.

ALVES, J. J. L.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. E. C. de; BRANQUINHO, N. A. de A. Cinética de secagem das folhas de *Hyptis suaveolens*. **Revista Brasileira Plantas Medicinais**, v. 19, n. 2, p. 168-176, 2017.

BARBOSA, F. F.; BARBOSA, L. C. A.; MELO, E. C.; BOTELHO, F. M.; SANTOS, R. H. S. Influência da temperatura do ar de secagem sobre o teor e a composição química do óleo essencial de *Lippia alba* (Mill) N. E. Brown. **Química Nova**, v. 29, n. 6, p.1221-1225, 2006.

BOTION, L. M.; FERREIRA, A.V.M.; CORTES, S. F.; LEMOS, V. S.; BRAGA, F. C. Effects of the Brazilian phytopharmaceutical product Ierobina® on lipid metabolism and intestinal tônus. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 102, n. 2, p. 137-142, 2005.

BRAGA, F. C.; VALADARES, Y. M.; COSTA, M. A.; LOMBARDI, J. A.; OLIVEIRA, A.B. de. Estudo fitoquímico de *Erythraea centaurium*, *Jacaranda caroba*, *Remijia ferruginea* e *Solanum paniculatum* visando identificar marcadores químicos para o fitoterápico Ierobina®. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 13, supl. 2, p. 28-31, 2003.

BRASIL. Código Farmacêutico Brasileiro. **Farmacopeia dos Estados Unidos do Brasil**. 2.ed. São Paulo: Ind. Gráfica Siqueira, 1959. 1265p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA. **Monografia da espécie *Solanum paniculatum*. (Jurubeba)**. Brasília, 2015b. 46p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. **Alimentos regionais brasileiros**. 2. ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2015a. 484 p.

CORADI, P. C.; MELO, E. de C.; ROCHA, R. P. da. Mathematical modeling of the drying kinetics of the leaves of lemon grass (*Cymbopogon citratus* Stapf) and its effects on quality. **Idesia**, v. 32, n. 4., p. 43-56, 2014.

DINIZ, A. C. B.; ASTARITA, L. V.; SANTARÉM, E. R. Alteração dos metabólitos secundários em plantas de *Hypericum perforatum* L. (Hypericaceae) submetidas à secagem e ao congelamento. **Acta Botanica Brasilica**, v. 21, n. 2, p. 443-450, 2007.

GARLET, T. M. B.; MATTOS, J. P. O. de; MARTINS, M. C. **Plantas medicinais de emprego popular em Palmeira das Missões, RS**. 2. ed. Santa Maria : Ed. PRE, 2017. 44p.

GASPARIN, P. P.; ALVES, N. C. C.; CHRIST, D.; COELHO, S. R. M. Qualidade de folhas e rendimento de óleo essencial em hortelã pimenta (*Mentha x Piperita* L.) submetida ao processo de secagem em secador de leito fixo. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 16, n. 2, supl. I, p. 337-344, 2014.

GASPARIN, P. P.; CHRIST, D.; COELHO, S. R. M. Secagem de folhas *Mentha piperita* em leito fixo utilizando diferentes temperaturas e velocidades de ar. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 2, p. 242-250, 2017.

GOMES, N. H. F.; SILVA NETO, H. C. da; 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.

GOMES, R. V. R. de S.; VILELA, V. L. R.; GOMES, E. da N.; MAIA, A. J.; ATHAYDE, A. C. R. Análise fitoquímica de extratos botânicos utilizados no tratamento de helmintoses gastrintestinais de pequenos ruminantes. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 4, p. 172-177, 2011.

GONELI, A.L.D.; VIEIRA, M. C.; BENITEZ, H. da C. V.; 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.

GRANDI, S. M. **Tratado das plantas medicinais**: mineiras, nativas e cultivadas. 1 ed. Dados eletrônicos – Belo Horizonte: Adaequatio Estúdio, 2014. 1204 p.

KARAMI, H.; RASEKH, M.; DARVISHI, Y.; KHALEDI, R. Effect of drying temperature and air velocity on the essential oil content of *Mentha aquatica* L. **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, v. 20, n. 4, p. 1131-1136, 2017.

KAYA, A.; AYDIN, O.; DINCER, I. Experimental and numerical investigation of heat and mass transfer during drying of Hayward kiwi fruits (*Actinidia Deliciosa Planch*). **Journal of Food Engineering**, v. 88, n. 3, p. 323-330, 2008.

KAZIYAMA, V. M.; FERNANDES, M. J. B.; SIMONI, I. C. Atividade antiviral de extratos de plantas medicinais disponíveis comercialmente frente aos herpesvírus suíno e bovino. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 14, n. 3, p. 522-528, 2012.

LÔBO, K.M.S.; ATHAYDE, A.C.R.; SILVA, A.M.A.; RODRIGUES, F.F.G.; LÔBO, I.S.; BEZERRA, D.A.C.; COSTA, J.G.M. Avaliação da atividade antibacteriana e prospecção fitoquímica de *Solanum paniculatum* Lam. e *Operculina hamiltonii* (G. Don) D. F. Austin & Staples, do semiárido paraibano. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 12, n. 2, p. 227-233, 2010.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. **Plantas medicinais no Brasil:** Nativas e exóticas. 2 ed. Nova Odessa-SP: Instituto Plantarum de Estudos da Flora Ltda, 2008. 544p.

MACHADO, N. G.; AQUINO, B. G.; NEVES, G. A. P. C. Espécies nativas de plantas frutíferas em uma área de Cerrado em Mato Grosso, Brasil. **Revista Monografias Ambientais - REMOA**, v. 14, n. 3, p. 3306-3315, 2014.

MARTINAZZO, A. P.; CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; MELO, E. de 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.

MARTINAZZO, A. P.; MELO, E. de C.; DEMUNER, A. J.; BERBERT, P. A. Avaliação do óleo essencial folhas de Cymbopogon citratus (DC.) Stapf após o processo de secagem . **Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas**, v. 12, n. 5, p. 523-536, 2013.

MELO, E. de C.; RADÜNZ, L. L.; MELO, R. C. de A. Influência do processo de secagem na qualidade de plantas medicinais – REVISÃO. **Engenharia na Agricultura**, v. 12, n. 4, p. 307-315, 2004.

MESIA-VELA, S.; SANTOS, M. T.; SOUCCAR, C.; LIMA-LANDMAN, M. T. R.; LAPA, A. J. *Solanum paniculatum* L. (Jurubeba): Potent inhibitor of gastric acid secretion in mice. **Phytomedicine**, v. 9, n. 6, p. 508-514, 2002.

MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A. New model for single-layer drying. **Drying Technology**, v. 20, n. 7, p. 1503-1513, 2002.

MINISTÉRIO DA SAÚDE**. Plantas Medicinais de Interesse ao SUS – Renisus.** Disponível em: http://portalms.saude.gov.br/acoes-e-programas/programa-nacional-de-plantas-medicinais-e-fitoterapicos-ppnpmf/politica-e-programa-nacional-de-plantas-medicinais-e-fitoterapicos/plantas-medicinais-de-interesse-ao-sus-renisus. Acessado em 05 de janeiro de 2019.

OLIVEIRA, M. T. R. de; BERBERT, P. A.; MATOS, C. R. R.; MATHIAS, L.; MOREIRA, R. O. Efeito da temperatura do ar de secagem sobre o teor e a composição química do óleo essencial de *Pectis brevipedunculata*. **Química Nova**, v. 34, n. 7, p. 1200-1204, 2011.

ÖZDEMIR; M.; DEVRES; Y O. The thin layer drying characteristics of hazelnuts during roasting. **Journal of Food Engineering**, v. 42, n. 4, p. 225-233, 1999.

PANCHARIYA, P. C.; POPOVIC, D.; SHARMA, A. L. Thin-layer modelling of black tea drying process. **Journal of Food Engineering**, v. 52, n. 4, p. 349-357, 2002.

PETRY, V. J.; WEBER, P. E. Modelagem matemática dos processos de transferência de calor e massa na secagem intermitente de grãos de soja. **Proceeding Series of the Brazilian Society of Applied and Computational Mathematics**, v. 3, n. 1, p. 1-7, 2015.

PIN, K. Y.; CHUAH, T. G.; ABDULL RASHIH, A.; LAW, C. L.; RASADAH, M. A.; CHOONG, T. S. Y. Drying of Betel leaves (*Piper betle* L.): Quality and drying kinetics**.** **Drying Technology**, v. 27 n. 1, p. 149-155, 2009.

PRATES, M. F. O.; REIS, R. C. dos; DEVILLA, I. A.; FARIA, R. Q.; LIMA JUNIOR, A. F. Cinética de secagem de folhas de *Solanum lycocarpum* A. St.-Hil. (fruta-de-lobo). **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 14, n. 3, p.514-521, 2012.

PUENTE-DÍAZ, L.; AH-HEN, K.; VEGA-GÁLVEZ, A.; LEMUS-MONDACA, R.; SCALA, K. D. Combined Infrared-Convective Drying of Murta (*Ugni molinae Turcz*) Berries: Kinetic Modeling and Quality Assessment. **Drying Technology**, v. 31, n. 3, p. 329-338, 2013.

RADÜNZ, L. L.; AMARAL, A. S. do; MOSSI, A. J.; MELO, E. DE C.; ROCHA, R. P. Avaliação da cinética de secagem de carqueja. **Engenharia na Agricultura**, v. 19, n. 1, p. 19-27, 2011.

RADÜNZ, L. L.; MELO, E. de C.; BARBOSA, L. C. de A.; SANTOS, R. H. S.; BARBOSA, F. da F.; MARTINAZZO, A. P. Influência da temperatura do ar de secagem no rendimento do óleo essencial de hortelã-comum (*Mentha x villosa Huds*). **Engenharia na Agricultura**, v.14, n. 4, p. 250-257, 2006.

RADÜNZ, L. L.; MELO, E. de C.; ROCHA, R. P. DA; BERBERT, P. A.; GRACIA, L. M. N. Study of essential oil from guaco leaves submitted to different drying air temperature. **Engenharia na Agricultura**, v. 18, n. 3, p. 241-247, 2010.

RADÜNZ, L. L.; MELO, E.C.; BARBOSA, L.C.A.; ROCHA, R.P.; BERBERT, P.A. Rendimento extrativo de cumarina de folhas de guaco (*Mikania glomerata* Sprengel) submetidas a diferentes temperaturas de secagem. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 14, n. 3, p.453-457, 2012.

RATES, S. M. K. Promoção do uso racional de fitoterápicos: uma abordagem no ensino de Farmacognosia. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 11, n. 2, p. 57-69, 2001.

REIS, R. C. DOS; DEVILLA, I. A.; ASCHERI, D. P. R.; SERVULO, A. C. O.; SOUZA, A. B. M. Cinética de secagem de folhas de manjericão (*Ocimum basilicum* L.) via infravermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 12, p. 1346-1352, 2012.

RESENDE, O.; ULLMANN, R.; SIQUEIRA, V. C.; CHAVES, T. H.; FERREIRA, L. U. Modelagem matemática e difusividade efetiva das sementes de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) durante a secagem. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 6, p. 1123-1135, 2011.

ROCHA, R. P.; MELO E. C.; RADÜNZ, L. L. Influence of drying process on the quality of medicinal plants: A review. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 5, n. 33, p. 7076-7084, 2011.

ROCHA, R. P.; MELO, E. de C.; BARBOSA, L. C. DE A.; RADUNZ, L. L. Effect of drying air temperature on the quality of essential oil from *Mikania glomerata.* **Engenharia na Agricultura**, v. 22, n. 3, p. 239-245, 2014.

RODRIGUES, V. E. G.; CARVALHO, D. A. de. Levantamento etnobotânico de plantas medicinais no domínio do cerrado na região do alto Rio Grande - Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 25, n. 1, p. 102-123, 2001.

SANTOS, M. R. A.; LIMA, M. R.; FERREIRA, M. G. R. Uso de plantas medicinais pela população de Ariquemes, em Rondônia. **Horticultura brasileira**, v. 26, n. 2, p. 244-250, 2008.

SHAHHOSEINI, R.; GHORBANI, H.; KARIMI, S. R.; ESTAJI, A.; MOGHADDAM, M. Qualitative and quantitative changes in the essential oil of Lemon Verbena (*Lippia citriodora*) as affected by drying condition. **Drying Technology**, v. 31, n. 9, p. 1020–1028, 2013.

SILVA, F. P. da; SIQUEIRA, V. C.; MARTINS, E. A. S.; MIRANDA, F. M. N.; MELO, R. M. Thermodynamic properties and drying kinetics of *Bauhinia forficata* Link leaves. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 61-67, 2017.

SILVA, L.; DURÇO, E.; PINHEIRO, J.; BESSA, E. C. de A. Effect of Solanum paniculatum leaf extract on food consumption, fertility and carbohydrate metabolism of Bradybaena similaris snail. **Journal of Natural Products**, v. 6, p.168-176, 2013.

SOARES, R. D.; CHAVES, M. A.; SILVA, A. A. L. da; SILVA, M. V. DA; SOUZA, B. dos S. Influência da temperatura e velocidade do ar na secagem de manjericão (*Ocimum basilicum* L.) com relação aos teores de óleos essenciais e de linalol. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 4, p. 1108-1113, 2007.

TAGLIATI, C. A.; SILVA, R. P.; FÉRES, C. A. O.; JORGE, R. M.; ROCHA, O. A.; BRAGA, F. C.Acute and chronic toxicological studies of the Brazilian phytopharmaceutical product Ierobina®. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 18, supl. 0, p. 676-682, 2008.

VAZ, T. A. A. **Efeito do condicionamento fisiológico na tolerância ao déficit hídrico e nas características morfofisiológicas de sementes de** *Solanum paniculatum* **L.** 2012. 65p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **The world medicines situation 2011: traditional medicines**: global situation, issues and challenges. Geneva: WHO, 2011. 12p.

CAPÍTULO I

CINÉTICA DE SECAGEM DE FOLHAS DE S*olanum paniculatum* L.

1. INTRODUÇÃO

A *Solanum paniculatum* L. (jurubeba), é uma planta neotropical muito comum no Brasil e em outros países como Paraguai, Bolívia e Argentina, a qual é utilizada na medicina tradicional e para fins alimentícios (VIEIRA JÚNIOR et al., 2015). Diversas pesquisas têm sido desenvolvidas para estudar a jurubeba devido a expansão de seu uso como fitoterápico, visto que os custos para tratamentos utilizando plantas medicinais são bem menores do que quando utilizados fármacos industrializados (RIBEIRO et al., 2009).

As folhas, frutos e raízes da jurubeba são usados na medicina tradicional no tratamento de problemas hepáticos e digestivos, por estimular as funções digestivas e reduzir o inchaço do fígado e vesícula (LORENZI e MATOS, 2008). As folhas da jurubeba também têm sido usadas na medicina tradicional como cicatrizante (RODRIGUES e CARVALHO, 2001). No extrato etanólico das folhas foi identificada a presença de alcaloides, glicosídeos cardiotônicos, taninos, saponinas e triterpenos (TERÇO e LIMA, 2016). O chá das folhas de jurubeba é usado como remédio cotidiano contra ressacas após o consumo exagerado de álcool e comida (LORENZI e MATOS, 2008).

As folhas são uma das estruturas das plantas medicinais onde mais comumente se encontraram as propriedades terapêuticas, como é o caso da jurubeba, embora apresente propriedades medicinais na planta inteira. As folhas de plantas medicinais, estas, normalmente, apresentam no momento da colheita, elevado teor de água, sendo este o principal fator na conservação do material, impactando de modo negativo, visto que o excesso de água é o principal responsável pelo aumento de atividades metabólicas e mudanças químicas e físicas que podem ocorrer no produto, até o seu consumo/processamento após a colheita. Deste modo, é imprescindível a redução do teor de água das folhas de plantas medicinais por meio da secagem (GONELI et al., 2014a).

A cinética de secagem de folhas de plantas medicinais vem sendo estudada constantemente por diversos pesquisadores, visando fomentar informações técnicas dessa etapa pós-colheita importante para o processamento mais eficiente desses produtos. A maioria dos estudos de secagem de folhas de plantas medicinais avaliam apenas o efeito de diferentes temperaturas do ar de secagem no processo (GOMES et al., 2017; SILVA et al., 2017; MELO et al., 2016; MARTINS et al., 2015; SILVA et al., 2015; GONELI et al., 2014a e 2014b; REIS et al., 2012).

A temperatura do ar é o fator que apresenta maior influência nas curvas de secagem, bem como na alteração dos princípios ativos de folhas de plantas medicinais, além de ser de fácil controle durante o processo. Outro fator que pode ser controlado facilmente durante o processo de secagem é a velocidade do ar, o qual tem uma menor influência (redução do tempo) nas curvas de secagem quando comparado à temperatura.

Visto que folhas de plantas medicinais, geralmente, são produtos que apresentam certa sensibilidade na manutenção de seus princípios ativos devido à temperatura do ar e/ou ao tempo de exposição à mesma, o controle da velocidade do ar de secagem no processo se torna interessante, visto que o mesmo colabora com a redução do tempo de secagem. Assim alguns trabalhos têm sido desenvolvidos estudando o efeito conjunto da temperatura e velocidade do ar para a secagem de folhas de plantas medicinais (MARTINS et al., 2018; ALVES et al., 2017; GASPARIN et al., 2017; KARAMI et al., 2017; GASPARIN et al., 2014; KAYA e AYDIN, 2009; SOARES et al., 2007).

O estudo do comportamento das curvas de secagem em diferentes condições do ar e o ajuste de modelos matemáticos às curvas de secagem de produtos agrícolas, juntamente, com a determinação da difusão efetiva e energia de ativação, são fundamentais para a elaboração de projetos e construção de equipamentos de secagem específicos para determinados produtos agrícolas (CELMA et al., 2009).

Diante do exposto, objetivou-se com o presente trabalho realizar o estudo da cinética de secagem de folhas de jurubeba sob diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem, ajustar, estatisticamente, modelos matemáticos para predizer as curvas de secagem, bem como determinar o coeficiente de difusão efetivo, a taxa de redução de água e a energia de ativação durante a secagem.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas, da Faculdade de Ciências Agrárias – FCA, da Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD, em Dourados/MS.

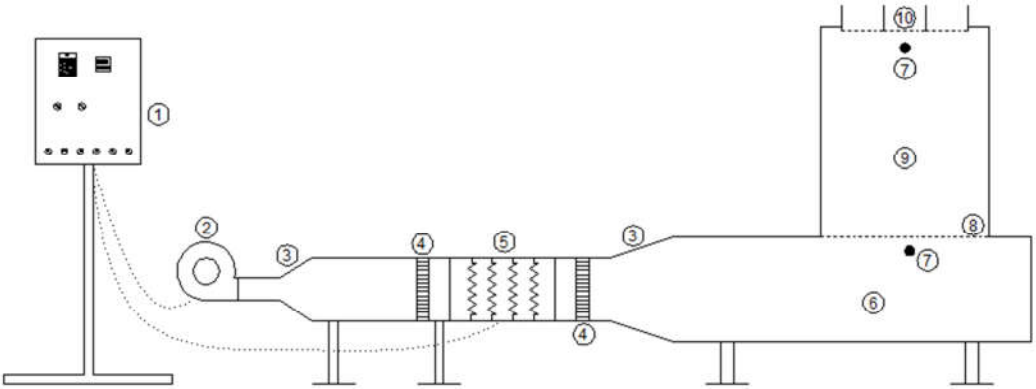
Foram cultivadas 150 plantas de jurubeba, cujas mudas foram produzidas em bandejas de poliestireno, utilizando sementes colhidas no horto de plantas medicinais da UFGD. O transplante das mudas foi realizado em setembro de 2016 em uma área experimental, de aproximadamente 500 m^2, situada na UFGD. Para a implantação e durante o desenvolvimento da cultura, foram realizados todos os tratos culturais necessários, incluindo o preparo e correção de solo, controle de plantas daninhas, irrigação e controle de pragas, para o bom desenvolvimento vegetativo das plantas cultivadas até a colheita, visando obter material com características homogêneas. Uma exsicata está depositada no Herbário DDMS da UFGD sob número 5553.

As folhas das plantas foram coletadas, aleatoriamente, nos terços médios e superiores, em várias plantas entre os meses de junho e julho de 2017. Foram selecionadas folhas sem injurias ou incidência de doenças, com a finalidade de garantir a homogeneidade das características físicas e químicas do produto. As folhas foram sempre coletadas no período da manhã, evitando-se coletar folhas após precipitações ou com resquícios de orvalho na superfície, para que não comprometesse a caracterização das curvas de secagem das mesmas.

Após cada coleta selecionavam-se folhas com tamanho semelhante e retirava-se o pecíolo delas. Antes de proceder à secagem, foi realizado um corte longitudinal e outro transversal em cada folha, dividindo-as em quatro partes, com o intuito de reduzir o tamanho de modo que fosse possível dispor uma camada uniforme de folhas em cada bandeja de secagem do secador.

A secagem foi realizada em secador experimental de leito fixo, descrito por Goneli et al. (2016), com controle automático de temperatura, por meio de um controlador universal de processos, modelo N1200, da marca Novus, trabalhando com controle proporcional integral derivativo (PID), e a velocidade do ar de secagem foi ajustada por meio de um inversor de frequência ligado ao motor do ventilador (Figura 1). O leito de secagem foi composto por bandejas com fundo telado, de 0,2 m de

diâmetro. Em cada bandeja do secador experimental foram dispostas aproximadamente 25,6 g de folhas de jurubeba, de modo a perfazer uma camada de folhas.



1- Painel de controle; **2**- Ventilador centrífugo; **3**- Expansões; **4**- Homogeneizadores de ar; **5**- Resistências elétricas; **6**- Plenum; **7**- Ponto de medição de temperatura do ar; **8**- Fundo telado; **9**- Leito de secagem; **10**- Bandejas para secagem em camada delgada.

FIGURA 1. Secador experimental utilizado na secagem das folhas de jurubeba.
Fonte: Adaptado de Martins (2015).

Após a coleta e seleção, as folhas de jurubeba apresentaram teor de água inicial de, aproximadamente, 2,76 decimal b.s.. O teor de água inicial e o de equilíbrio foram determinados por meio do método gravimétrico em estufa, a 103 ± 1 ºC, durante 24 h (ASABE, 2010).

Para os ensaios de secagem, as folhas foram submetidas a quatro diferentes temperaturas (40, 50, 60 e 70 °C) e duas velocidades (0,4 e 0,8 m s^{-1}) do ar de secagem. A secagem foi realizada até que as mesmas atingissem o teor de água de equilíbrio. Para fins de modelagem matemática, considerou-se o teor de água final de aproximadamente 0,11 decimal b.s..

O teor de água das folhas, durante os ensaios de secagem, foi determinado pelo método gravimétrico, utilizando uma balança com resolução de 0,01 g. No decorrer do processo de secagem, as bandejas com as amostras foram pesadas periodicamente, com intervalos de pesagens pré-estabelecidos para o início do processo e aumentados no decorrer do processo, com base na diferença de massa entre as sucessivas pesagens, evitando-se diferenças elevadas de teor de água entre as pesagens, conhecendo-se a massa e o teor de água inicial.

A razão de umidade das folhas de jurubeba durante a secagem, nas diferentes condições do ar, foi determinada pela Equação 1.

$$RU = \frac{U - U_e}{U_i - U_e} \quad (1)$$

em que:

RU: razão de umidade do produto, adimensional;

U: teor de água do produto em um determinado tempo, decimal b.s.;

U_e: teor de água de equilíbrio do produto, decimal b.s.; e

U_i: teor de água inicial do produto, decimal b.s..

Aos dados razão de umidade das folhas de jurubeba, obtidos experimentalmente durante a secagem, foram ajustados modelos matemáticos tradicionalmente utilizados para predizer a secagem de produtos agrícolas (Tabela 1), modelos estes utilizados por diversos pesquisadores em trabalhos com plantas medicinais (MARTINS et al., 2018; ALVES et al., 2017; GASPARIN et al., 2017; GOMES et al., 2017; MARTINS et al., 2015; GONELI et al., 2014a).

TABELA 1. Modelos matemáticos utilizados para estimar as curvas de secagem das folhas de jurubeba

Designação do modelo	Modelo	Equação
Aproximação da difusão	$RU = a \exp(-k\,\theta) + (1 - a) \exp(-k\,b\,\theta)$	(2)
Dois termos	$RU = a \exp(-k_o\,\theta) + b \exp(-k_1\,\theta)$	(3)
Exponencial de Dois Termos	$RU = a \exp(-k\,\theta) + (1 - a) \exp(-k\,a\,\theta)$	(4)
Henderson e Pabis	$RU = a \exp(-k\,\theta)$	(5)
Logarítmico	$RU = a \exp(-k\,\theta) + c$	(6)
Midilli	$RU = a \exp(-k\,\theta^n) + b\,\theta$	(7)
Newton	$RU = \exp(-k\,\theta)$	(8)
Page	$RU = \exp(-k\,\theta^n)$	(9)

em que:

θ: tempo de secagem, h;

k, k_o, k_1: constantes de secagem, h^{-1};

a, b, c, n: coeficientes dos modelos.

A taxa de redução de água (TRA) durante a secagem das folhas foi determinada pela Equação 10, conforme descrito por Corrêa et al. (2001). Os mesmos

autores conceituam a TRA como a quantidade de água que um determinado produto perde por unidade de matéria seca por unidade de tempo.

$$TRA = \frac{Ma_0 - Ma_i}{MS(t_i - t_0)} \tag{10}$$

em que:

TRA: taxa de redução de água, kg kg^{-1} h^{-1};

Ma_0: massa de água total anterior, kg;

Ma_i: massa de água total atual, kg;

MS: massa de matéria seca, kg;

t_0: tempo total de secagem anterior, h; e

t_i: tempo total de secagem atual, h.

Os coeficientes de difusão efetiva das folhas foram obtidos por meio do ajuste do modelo matemático da difusão líquida (Equação 11) aos dados observados durante a secagem nas diferentes condições do ar. Essa equação considera a forma geométrica do produto como a de uma placa plana e com aproximação de oito termos.

$$RU = \frac{U\text{-}U_e}{U_i\text{-}U_e} = \frac{8}{\pi^2}\sum_{n_t=0}^{\infty}\frac{1}{(2n_t+1)^2}\exp\left[-(2n_t+1)^2.\pi^2 D_i\left(\frac{\theta}{4L}\right)^2\right] \tag{11}$$

em que:

Di: coeficiente de difusão efetivo, m^2 s^{-1};

L: espessura do produto, m; e

n_t: número de termos a ser utilizado no modelo.

A espessura (L) das folhas foi obtida utilizando-se um paquímetro digital, com resolução de 0,01 mm, medindo-se a espessura de 50 folhas, sendo realizadas seis medidas em diferentes pontos de cada folha. Após as medições foi calculada a espessura média das folhas de jurubeba, a qual foi de 0,939 mm.

Para avaliar o efeito da temperatura no coeficiente de difusão efetivo, foi utilizada a equação de Arrhenius, conforme descrita na Equação 12.

$$D_i = D_o \exp\left(\frac{E_a}{R\,T_a}\right) \quad (12)$$

em que:

D_o: fator pré-exponencial;

E_a: energia de ativação, kJ mol^{-1};

R: constante universal dos gases, 8,314 kJ $kmol^{-1}$ K^{-1}; e

T_a: temperatura absoluta, K.

Aos dados observados de razão de umidade, obtidos durante a secagem das folhas de jurubeba nas diferentes condições do ar de secagem, foram ajustados os modelos matemáticos (Tabela 1) por meio da análise de regressão não linear, pelo método de Gauss-Newton, utilizando um software estatístico.

Para a seleção do modelo matemático para representar o processo de secagem das folhas em todas as condições do ar de secagem foi avaliado o grau de ajuste de cada modelo por meio da análise dos valores do erro médio relativo (P), os quais indicam o desvio dos dados observados em relação aos valores estimados pelo modelo matemático em estudo (KASHANINEJAD et al., 2007). Outro parâmetro também utilizado foi o desvio padrão da estimativa (SE), o qual indica o potencial que um modelo possui para descrever com veracidade um determinado processo físico, em que quanto menor seu valor, melhor é a qualidade do ajuste do modelo em relação aos dados obtidos experimentalmente (DRAPER e SMITH, 1998), e também, foi realizada a análise dos valores do coeficiente de determinação ajustado (R^2).

Os valores de P e SE foram calculados utilizando as Equações 13 e 14, respectivamente.

$$P = \frac{100}{n_o}\sum_{i=1}^{n_o}\left(\frac{\left|Y-\hat{Y}\right|}{Y}\right) \quad (13)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_o}\left(Y-\hat{Y}\right)^2}{GLR}} \quad (14)$$

em que:

n_o: número de observações experimentais;

Y: valor observado experimentalmente;

$\hat{Y}$: valor estimado pelo modelo; e

GLR: graus de liberdade do modelo.

Adotou-se também como critério de seleção, a escolha de um modelo que se ajuste satisfatoriamente a todas as condições do ar de secagem estudadas neste trabalho.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando os modelos matemáticos com valores de erro médio relativo (P) inferiores a 10% como adequados para estimar com fidelidade os dados observados durante a secagem (MOHAPATRA e RAO, 2005), o único modelo que pode ser utilizado para representar o processo de secagem das folhas de jurubeba para todas as condições do ar de secagem estudadas no presente trabalho é o modelo de Midilli (7), por ser o único modelo a atender este critério para todas as condições do ar de secagem avaliadas (Tabela 2).

Os demais parâmetros estatísticos analisados, o desvio padrão da estimativa (SE) e o coeficiente de determinação (R^2) corroboram com a escolha do modelo de Midilli (7) com base nos valores de P, visto que para todas as condições do ar de secagem esse possui baixos valores de SE (Tabela 2). Além disso, o modelo selecionado possui valores do R^2 superior a 0,99 para todas as condições do ar de secagem o que, segundo Kashaninejad et al. (2007), indica uma representação satisfatória do modelo para o processo em estudo.

Portanto, selecionou-se o modelo de Midilli para representar o processo de secagem de folhas de jurubeba. Martins et al. (2018), Gasparin et al. (2017) e Alves et al. (2017), em trabalho semelhante ao presente estudo, trabalhando com folhas de *Morus nigra* L., folhas de *Mentha piperita* e com folhas de *Hyptis suaveolens*, respectivamente, estudaram a cinética de secagem dessas plantas medicinais em diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem, e também verificaram que o modelo de Midilli foi o que melhor se ajustou aos dados observados para todas as condições do ar de secagem.

TABELA 2. Valores dos parâmetros estatísticos obtidos na modelagem das curvas de secagem das folhas de jurubeba para as diferentes condições do ar de secagem

Modelos	0,4 m s^{-1}			0,8 m s^{-1}		
	SE (decimal)	P (%)	R^2 (decimal)	SE (decimal)	P (%)	R^2 (decimal)
			40°C			
(2)	0,0093	8,8345	0,9990	0,0115	16,4795	0,9985
(3)	0,0127	8,3076	0,9982	0,0133	15,9012	0,9980
(4)	0,0238	14,2545	0,9933	0,0211	16,0521	0,9948
(5)	0,0125	8,3076	0,9982	0,0131	15,9011	0,9980
(6)	0,0108	2,4261	0,9986	0,0089	1,9925	0,9991
(7)	0,0079	4,1558	0,9993	0,0077	5,1333	0,9993
(8)	0,0262	6,5621	0,9918	0,0212	12,7115	0,9946
(9)	0,0186	13,0268	0,9959	0,0183	19,0976	0,9961
Modelos			50°C			
(2)	0,0092	5,7305	0,9990	0,0035	1,9637	0,9998
(3)	0,0050	1,5168	0,9997	0,0036	1,9637	0,9998
(4)	0,0065	2,2654	0,9995	0,0118	4,0493	0,9981
(5)	0,0091	5,6153	0,9990	0,0100	3,0464	0,9986
(6)	0,0054	3,2004	0,9996	0,0097	1,7719	0,9988
(7)	0,0055	2,5595	0,9996	0,0075	3,1253	0,9993
(8)	0,0089	5,7305	0,9990	0,0156	6,1875	0,9966
(9)	0,0076	3,3022	0,9993	0,0086	2,8367	0,9990
Modelos			60°C			
(2)	0,0171	7,2059	0,9964	0,0153	14,5289	0,9974
(3)	0,0173	7,4362	0,9965	0,0118	6,2663	0,9985
(4)	0,0185	12,4489	0,9957	0,0142	12,3597	0,9976
(5)	0,0182	13,8396	0,9958	0,0147	14,4260	0,9974
(6)	0,0180	9,6815	0,9961	0,0130	8,2811	0,9981
(7)	0,0170	5,5921	0,9967	0,0112	4,3142	0,9987
(8)	0,0183	14,2051	0,9956	0,0144	14,5289	0,9974
(9)	0,0185	13,2689	0,9957	0,0146	13,8692	0,9975
Modelos			70°C			
(2)	0,0717	31,1662	0,9677	0,0102	6,6472	0,9993
(3)	0,0282	20,8136	0,9967	0,0160	6,8101	0,9985
(4)	0,0108	6,5752	0,9991	0,0095	6,6509	0,9993
(5)	0,0213	18,5044	0,9967	0,0135	6,8101	0,9985
(6)	0,0155	15,5468	0,9985	0,0130	8,3973	0,9988
(7)	0,0137	9,8979	0,9992	0,0114	4,8820	0,9993
(8)	0,0213	20,0957	0,9962	0,0131	7,0620	0,9984
(9)	0,0118	7,3865	0,9991	0,0100	6,5022	0,9992

O modelo de Midilli, geralmente, é que o que melhor se ajusta a secagem de folhas de plantas medicinais, pois isso já foi verificado para diversos produtos, como para folhas de *Petroselinum crispum* Mill. (CORRÊA FILHO et al., 2018), folhas de *Cymbopogon citratus* (GOMES et al., 2017), folhas de *Maytenus ilicifolia* (Schrad.) Planch (MELO et al., 2016), folhas de *Serjania marginata* Casar (MARTINS et al., 2015), folhas de *Genipa americana* L. (SILVA et al., 2015), folhas de *Schinus terebinthifolius* (GONELI et al., 2014a), folhas de *Cordia verbenacea* DC. (GONELI et al., 2014b), folhas de *Ocimum basilicum* (REIS et al., 2012).

Segundo Goneli et al (2014a), o melhor ajuste do modelo de Midilli às curvas de secagem de folhas de plantas medicinais, provavelmente, deve-se à rápida perda de água no início do processo de secagem desses produtos, gerando uma curva de secagem mais acintosa e mais bem caracterizada, matematicamente, por esse modelo.

Os valores de razão de umidade estimados, pelo modelo de Midilli, apresentaram elevada correspondência aos dados de razão de umidade observados para as diferentes condições do ar de secagem das folhas de jurubeba (Figuras 2 e 3), reforçando assim o bom ajuste e a aplicabilidade deste modelo para representar o processo estudado.

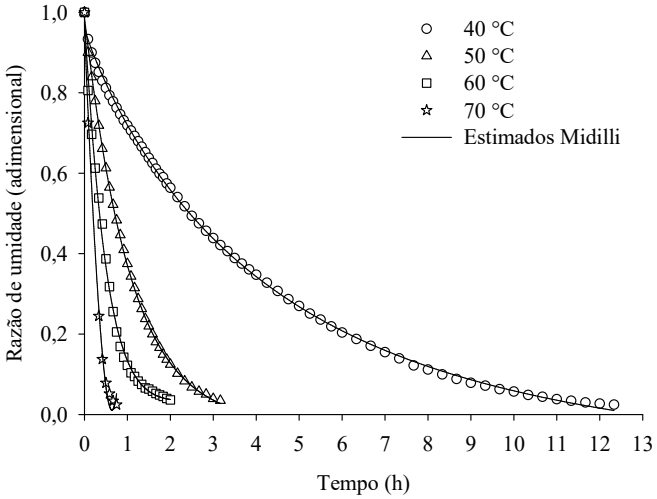


FIGURA 2. Valores de razão de umidade observados e estimados pelo modelo de Midilli para a secagem das folhas de jurubeba na velocidade do ar de 0,4 m s^{-1}. Dourados, UFGD, 2019.

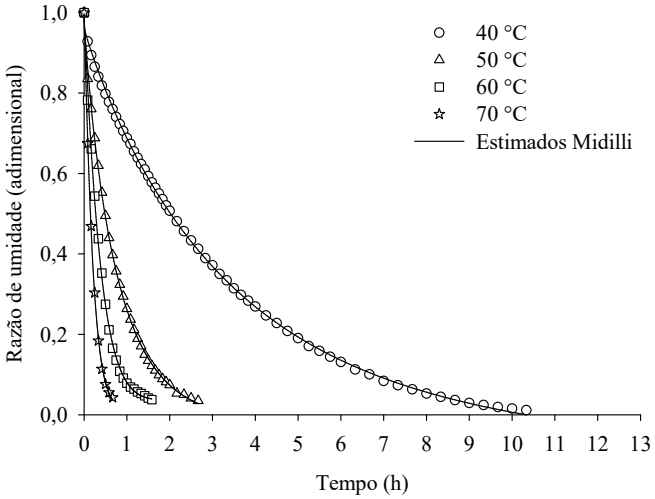


FIGURA 3. Valores de razão de umidade observados e estimados pelo modelo de Midilli para a secagem das folhas de jurubeba na velocidade do ar de 0,8 m s^{-1}. Dourados, UFGD, 2019.

Para as folhas de jurubeba atingirem o teor de água de aproximadamente 0,11 decimal b.s., na velocidade do ar de secagem 0,4 m s^{-1} foram necessárias 12,33; 3,17; 2,00 e 0,75 h (Figura 2), para as temperaturas do ar de 40, 50, 60 e 70 °C, respectivamente. Já para a velocidade do ar de secagem de 0,8 m s^{-1}, foram necessários 10,33; 2,67; 1,58; e 0,67 h (Figura 3), para as mesmas temperaturas do ar de secagem já citadas.

O fato de ter havido redução do tempo de secagem com a elevação da temperatura do ar de secagem era esperado (Figuras 2 e 3), esse comportamento é observado em diversos trabalhos com plantas medicinais (CORRÊA FILHO et al., 2018, SILVA et al., 2017; GOMES et al., 2017, MELO et al., 2016, GONELI et al., 2014a e 2014b). O tempo de secagem para atingir o teor de água final também foi reduzido ao elevar a velocidade do ar de secagem das folhas de jurubeba, comportamento esse observado por Martins et al. (2018) com folhas de *Morus nigra* L. e por Alves et al. (2017) com folhas de *Hyptis suaveolens*.

A velocidade do ar de secagem é um dos fatores que influencia os coeficientes de transferência de massa e calor. Logo, o aumento da velocidade do ar aumenta os coeficientes de massa e calor entre o ar e o produto, intensificando a transferência de massa das folhas para o seu entorno por unidade de tempo, o que consequentemente reduz o tempo de secagem (SHAHHOSEINI et al., 2013).

A temperatura apresentou efeito mais pronunciado do que a velocidade do ar na redução do tempo de secagem para as folhas de jurubeba atingirem o teor de água

de aproximadamente 0,11 decimal b.s. (Figuras 2 e 3). Isso ocorre, conforme explicado por Martins (2015), devido ao principal fator para desencadear o processo de secagem de produtos agrícolas ser a diferença de pressão de vapor entre o ar de secagem e o produto. A pressão de vapor é influenciada diretamente pela temperatura, pois ao se elevar a temperatura do ar de secagem aumenta-se a diferença de pressão de vapor entre o ar e o produto; já a velocidade de deslocamento do ar de secagem não afeta a pressão de vapor entre o ar e o produto.

A remoção de água das folhas de jurubeba foi mais intensa no início do processo de secagem (Figuras 4 e 5), pois quanto maior a temperatura do ar de secagem maior é a taxa de redução de água (TRA) no início do processo. Após 1 hora de secagem, a TRA, para ambas as velocidades do ar de secagem, não apresentaram diferenças expressivas em função da temperatura do ar de secagem.

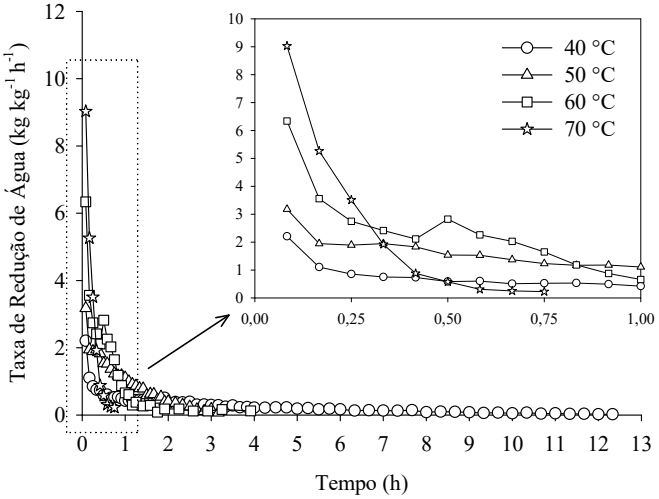


FIGURA 4. Taxa de redução de água nas folhas de jurubeba durante o processo de secagem na velocidade do ar de 0,4 m s^{-1}. Dourados, UFGD, 2019.

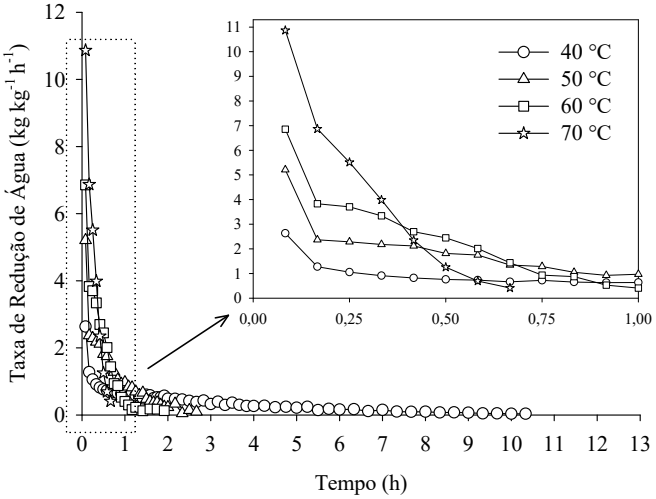


FIGURA 5. Taxa de redução de água para as folhas de jurubeba durante o processo de secagem na velocidade do ar de 0,8 m s^{-1}. Dourados, UFGD, 2019.

Para uma mesma temperatura, no início do processo de secagem, ao elevar-se a velocidade do ar aumenta-se a TRA (Figuras 5 e 6). Segundo Babalis et al. (2006), esse fenômeno é explicado devido ao fato de, no início do processo de secagem, ocorrer a evaporação da água na superfície do produto, fazendo com que a velocidade do ar colabore com maior intensidade para remoção de água nessa etapa do processo. No decorrer do processo de secagem, a evaporação da água na superfície do produto é gradativamente substituída pela condensação que se desloca para o interior do produto, reduzindo o efeito da velocidade do ar, fazendo com que a difusão líquida se torne o fator mais importante nesse processo.

Sobre o efeito da velocidade do ar na secagem das folhas de jurubeba, observa-se nas Figuras 2 e 3, que o efeito da velocidade do ar no tempo de secagem foi mais evidente na menor temperatura do ar de secagem (40 °C).

A constante de secagem “k” do modelo de Midilli, para a secagem de folhas de jurubeba, independente da velocidade do ar de secagem, tem seus valores elevados conforme aumenta-se a temperatura do ar de secagem (Tabela 3). Segundo Babalis e Belessiotis (2004), a constante de secagem “k” pode ser usada como uma aproximação para caracterizar o efeito da condição do ar secagem (temperatura e velocidade do ar) e está correlacionada com a difusão efetiva no processo de secagem.

TABELA 3. Parâmetros do modelo de Midilli para as diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem das folhas de jurubeba

Temperatura	0,4 m s^{-1}				0,8 m s^{-1}			
(°C)	a	k	n	b	a	k	n	b
40	0,9623	0,2842	0,8928	-0,0046	0,9620	0,3284	0,9366	-0,0050
50	0,9855	0,9648	1,0312	-0,0045	0,9858	1,3120	0,9213	-0,0041
60	0,9743	2,0835	1,0730	0,0126	0,9875	2,7598	1,0652	0,0182
70	0,9983	5,0182	1,1186	-0,0132	0,9973	5,4893	1,0819	0,0118

Observa-se que para uma mesma temperatura do ar de secagem, na velocidade do ar de secagem de 0,8 m s^{-1}, a constante se secagem "k", sempre apresenta valores maiores do que na velocidade do ar de 0,4 m s^{-1} (Tabela 3). Isso porque este parâmetro está associado à difusão de água durante o processo de secagem, e sob maior velocidade do ar de secagem, maior foi o coeficiente de difusão das folhas de jurubeba (Tabela 4).

TABELA 4. Coeficiente de difusão efetivo (D_i) ajustado as diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem em camada delgada das folhas de jurubeba

Temperatura (°C)	D_i x 10^{-11} m^2 s^{-1}	
	0,4 m s^{-1}	0,8 m s^{-1}
40	2,0966	2,5880
50	7,9232	10,8971
60	16,0276	20,5583
70	37,8640	39,4700

Os valores do coeficiente de difusão efetivo (D_i) das folhas de jurubeba aumentaram conforme elevou-se a temperatura do ar de secagem (Tabela 4), para ambas as velocidades do ar. Para uma mesma temperatura do ar, ao aumentar a velocidade do ar de secagem, tem-se elevação dos valores do D_i das folhas de jurubeba. Comportamento semelhante, em função da temperatura e velocidade do ar de secagem, para o D_i de folhas de plantas medicinais foi observado por Martins et al. (2018), Alves et al. (2017) e Kaya e Aydin (2009).

O aumento do D_i, em função da elevação da temperatura do ar de secagem deve-se ao fato de que, ao aumentar o valor deste parâmetro do ar, reduz-se a viscosidade da água e ocorre o aumento do nível de vibração das suas moléculas no produto, o que consequentemente afeta a difusão nos capilares do produto (GONELI et al., 2009), favorecendo a movimentação da água nas folhas de jurubeba. Já, o aumento dos valores do D_i devido ao aumento da velocidade do ar de secagem, segundo Martins

(2015), pode ser atribuído ao fato do aumento da velocidade do ar de secagem colaborar com a evaporação da água na superfície do produto.

A energia de ativação, obtida por meio dos coeficientes da equação de Arrhenius ajustados aos valores de D_i para as folhas de jurubeba durante a secagem, calculados de acordo com a Equação 12, é de 84,07 e 79,09 kJ mol^{-1} para as folhas secas utilizando a velocidade do ar de secagem de 0,4 e 0,8 m s^{-1}, respectivamente, para a faixa de temperatura do ar de secagem de 40 a 70 °C.

Ao elevar a velocidade do ar de secagem houve a redução dos valores de energia de ativação, fenômeno esse observado por Alves et al. (2017) para folhas de *Hyptis suaveolens*. A energia de ativação, segundo Kashaninejad et al. (2007), é uma barreira que deve ser ultrapassada para que o processo de difusão possa ser desencadeado no produto. Ainda segundo Morais et al. (2013) e Faria et al. (2012) quanto menor a energia de ativação, maior será a difusividade de água no produto durante o processo de secagem, fato esse observado no presente estudo, em que ao se aumentar a velocidade do ar de secagem obtiveram-se os maiores valores de D_i (Tabela 4) e menor energia de ativação. Para Martins (2015), a elevação da velocidade do ar de secagem facilita a evaporação de água do produto, o que proporciona o aumento no D_i e redução da energia de ativação.

Os valores de energia de ativação calculados para as folhas de jurubeba foram maiores do que os encontrados para outras folhas de plantas medicinais secas em diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem, como para folhas de *Hyptis suaveolens* 62,513 e 61,289 kJ mol^{-1} (ALVES et al., 2017), para folhas de *Morus nigra* L. 65,94 e 66,08 kJ mol^{-1} (MARTINS et al., 2018) e para folhas de *Mentha piperita* 68,42 e 78,27 kJ mol^{-1} (GASPARIN et al., 2017).

4. CONCLUSÕES

Dentre os modelos matemáticos ajustados para predizer o processo de secagem de folhas de jurubeba, apenas o modelo de Midilli ajustou-se de maneira satisfatória a todas as condições do ar de secagem.

Com o aumento da temperatura e da velocidade do ar houve a redução do tempo de secagem das folhas de jurubeba. A temperatura do ar teve efeito mais intenso na redução do tempo de secagem, enquanto a velocidade do ar teve efeito mais pronunciado na redução do tempo de secagem para a temperatura do ar de 40 °C.

Os valores do coeficiente de difusão efetivo aumentaram com a elevação da temperatura e da velocidade do ar de secagem.

Para a faixa de temperatura do ar de 40 a 70 °C, ao aumentar a velocidade do ar de secagem, reduziu-se a energia de ativação para a secagem de folhas de jurubeba.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, J. J. L.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. E. C. de; BRANQUINHO, N. A. de A. Cinética de secagem das folhas de *Hyptis suaveolens*. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 19, n. 2, p. 168-176, 2017.

ASABE - American Society of Agricultural and Biological Engineers. Moisture Measurement – Forages: Standard S358.2 DEC1988, R2008. In: **American Society of Agricultural and Biological Engineers** (ed.). Standards, Engineering Practices, and Data. St. Joseph: ASABE, 2010. p.684-685.

BABALIS, S. J.; BELESSIOTIS, V. G. Influence of the drying condition on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs. **Journal of Food Engineering**, v. 65, n. 3, p. 449-458, 2004.

BABALIS, S. J.; PAPANICOLAOU, E.; KYRIAKIS, N.; BELESSIOTIS, V. G. Evaluation of thin-layer drying models for describing drying kinetics of figs (*Ficus carica*). **Journal of Food Engineering**, v. 75, n. 2, p. 205-214, 2006.

CELMA, A. R.; LÓPEZ-RODRÍGUEZ, F.; BLÁZQUEZC, F. C. Experimental modelling of infrared drying of industrial grape by-products. **Food and Bioproducts Processing**, v. 87, n. 4, p. 247-253, 2009.

CORRÊA FILHO, L. C.; MARTINAZZO, A. P.; TEODORO, C. E. de S.; ANDRADE, E. T. de. Post-harvest of parsley leaves (*Petroselinum crispum*): Mathematical modelling of drying and sorption processes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 131-136, 2018.

CORRÊA, P. C.; MACHADO, P. F.; ANDRADE, E. T. Cinética de secagem e qualidade de grãos de milho-pipoca. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 25, n. 1, p. 134-142, 2001.

DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 3 ed. New York: John Wiley & Sons, 1998. 712p.

FARIA, R. Q.; 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, 2012.

GASPARIN, P. P.; ALVES, N. C. C.; CHRIST, D.; COELHO, S. R. M. Qualidade de folhas e rendimento de óleo essencial em hortelã pimenta (*Mentha x Piperita* L.)

submetida ao processo de secagem em secador de leito fixo. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 16, n. 2, supl. I, p. 337-344, 2014.

GASPARIN, P. P.; CHRIST, D.; COELHO, S. R. M. Secagem de folhas *Mentha piperita* em leito fixo utilizando diferentes temperaturas e velocidades de ar. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 2, p. 242-250, 2017.

GOMES, N. H. F.; SILVA NETO, H. C. da; 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.; CORRÊA, P. C.; AFONSO JÚNIOR, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H. Cinética de secagem dos grãos de café descascados em camada delgada. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Especial Café - Viçosa - MG, n.11, p. 64-73, 2009.

GONELI, A. L. D.; MARTINS, E. A. S.; JORDAN, R. A.; GEISENHOFF, L. O.; GARCIA, R. T. Experimental dryer design for agricultural products. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 5, p. 938-950, 2016.

GONELI, A. L. D.; NASU, A. K.; GANCEDO, R.; ARAÚJO, W. D.; SARATH, K. L. L. Cinética de secagem de folhas de erva baleeira (*Cordia verbenácea* DC.). **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 16, n. 2, p. 434-443, 2014b.

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, 2014a.

KARAMI, H.; RASEKH, M.; DARVISHI, Y.; KHALEDI, R. Effect of drying temperature and air velocity on the essential oil content of *Mentha aquatica* L. **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, v. 20, n. 4, p. 1131-1136, 2017.

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.

KAYA, A.; AYDIN, O. An experimental study on drying kinetics of some herbal leaves. **Energy Conversion and Management**, v. 50, n. 1, p. 118-124, 2009.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. **Plantas medicinais no Brasil:** Nativas e exóticas. 2 ed. Nova Odessa-SP: Instituto Plantarum de Estudos da Flora Ltda, 2008. 544p.

MARTINS, E. A. S. **Dimensionamento e experimentação de um secador de leito fixo para a secagem de produtos agrícolas**. 2015. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

MARTINS, E. A. S.; GONELI, A. L. D.; GONCALVES, A. A.; HARTMANN FILHO, C. P.; SIQUEIRA, V. C.; OBA, G. C. Drying kinetics of blackberry leaves. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 8, p. 570-576, 2018.

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.

MELO, R. M.; SIQUEIRA, V. C.; SILVA, F. P. D.; MARTINS, E. A. S.; GONELI, A. L. D.; VIEIRA, M. C. Cinética de secagem de folhas de espinheira-santa (*Maytenus ilicifolia* (Schrad.) Planch). **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 18, n. 4, p. 819-827, 2016.

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. 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.

REIS, R. C. dos; DEVILLA, I. A.; ASCHERI, D. P. R.; SERVULO, A. C. O.; SOUZA, A. B. M. Cinética de secagem de folhas de manjericão (*Ocimum basilicum* L.) via infravermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 12, p. 1346-1352, 2012.

RIBEIRO, V.; VIEIRA, I. L. B. F.; PASSOS, D. C. S. dos; SILVA, E. M. da; VALE, C. R. do; FELÍCIO, L. P.; FERREIRA, H. D.; VIEIRA, P. M.; CARVALHO, S. de. Ausência de mutagenicidade de *Solanum paniculatum* L. em células somáticas de Drosophila melanogaster: SMART/asa. **Revista de Biologia Neotropical**, v. 6, n. 2, p. 27-33, 2009.

RODRIGUES, V. E. G.; CARVALHO, D. A. de. Levantamento etnobotânico de plantas medicinais no domínio do cerrado na região do alto Rio Grande - Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 25, n. 1, p. 102-123, 2001.

SHAHHOSEINI, R.; GHORBANI, H.; KARIMI, S. R.; ESTAJI, A.; MOGHADDAM, M. Qualitative and quantitative changes in the essential oil of Lemon Verbena (*Lippia citriodora*) as affected by drying condition. **Drying Technology**, v. 31, n. 9, p. 1020–1028, 2013.

SILVA, F. P. da; SIQUEIRA, V. C.; MARTINS, E. A. S.; MIRANDA, F. M. N.; MELO, R. M. Termodynamic properties and drying kinetics of *Bauhinia forfcata* Link leaves. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 61-67, 2017.

SILVA, L. A.; RESENDE, O.; VIRGOLINO, Z. Z.; BESSA, J. F. V.; MORAIS, W. A.; VIDAL, V. M. Cinética de secagem e difusividade efetiva em folhas de jenipapo (*Genipa americana* L.). **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 17, n. 4, p. 953-963, 2015.

SOARES, R. D.; CHAVES, M. A.; SILVA, A. A. L. da; SILVA, M. V. DA; SOUZA, B. dos S. Influência da temperatura e velocidade do ar na secagem de manjericão (*Ocimum basilicum* L.) com relação aos teores de óleos essenciais e de linalol. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 4, p. 1108-1113, 2007.

TERÇO, J. W. dos S.; LIMA, R. A. Identificação das classes de metabólitos secundários no extrato etanólico dos frutos e folhas de *Solanum paniculatum* L. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, v. 3, n. 2, p. 92-99, 2016.

VIEIRA JÚNIOR, G. M.; ROCHA, C. Q. da; RODRIGUES, T. de S.; HIRUMA-LIMA, C. A.; VILEGAS, W. New steroidal saponins and antiulcer activity from *Solanum paniculatum* L. **Food Chemistry**, v. 186, p. 160-167, 2015.

CAPÍTULO II

CINÉTICA DE SECAGEM DE FRUTOS DE *Solanum paniulatum* L. EM DIFERENTES ESTÁGIOS DE MATURAÇÃO

1. INTRODUÇÃO

A jurubeba (*Solanum paniculatum* L.) é classificada como fitoterápico oficial na Farmacopeia Brasileira devido as suas propriedades medicinais (TERÇO e LIMA, 2016), embora, para muitos, seja considerada planta daninha.

Um dos motivos da jurubeba ser conhecida em praticamente todo o território nacional é o uso do seu fruto para fins alimentícios. Os frutos são bagas esféricas ou ovaladas, de cor verde amarelada quando maduras. Em muitas regiões do Brasil é consumido ainda verde, em omeletes, como condimento na forma de picles ou como aditivos de aguardente (MACHADO et al., 2014; LORENZI e MATOS, 2008).

Terço e Lima (2016) identificaram no extrato etanólico dos frutos de jurubeba a presença de alcaloides, glicosídeos cardiotônicos, taninos, saponinas, triterpenos e cumarinas, compostos esses de grande interesse na medicina tradicional. Os frutos, para fins medicinais, podem ser utilizados na forma de infuso, tintura, extrato fluido e vinho, sendo utilizados para afecções hepáticas, como colagogo, tônico, febrífugo, anti-inflamatório, antipirético e na inapetência (GRANDI, 2014).

A secagem é uma técnica utilizada mundialmente para garantir a qualidade e a estabilidade de produtos in natura durante a vida de prateleira, sendo esta uma das alternativas essenciais para a transformação industrial de frutos em subprodutos. A diminuição do teor de água, por meio da secagem, reduz a atividade biológica do produto e as alterações químicas e físicas na fase pós-colheita até o consumo final. Enzimas, microrganismos e todo o mecanismo metabólico necessitam de água para suas atividades, logo, com a redução do teor de água do produto são reduzidas a atividade de água e a velocidade das reações químicas, o que consequentemente, afeta o desenvolvimento de microrganismos, possibilitando que o produto mantenha a qualidade por maior período de tempo, aumentando-se assim a vida de prateleira (OLIVEIRA et al., 2015).

A secagem dos frutos de jurubeba torna-se um processo fundamental, visto que o processamento industrial de produtos fitoterápicos tem a necessidade de grandes quantidades de material vegetal, os quais normalmente não estão disponíveis ao longo do ano para serem utilizados na sua forma in natura. Assim, a redução do teor de água para proporcionar condições adequadas para o armazenamento deste material, para que o mesmo possa ser processado em momento oportuno é essencial. Visto a escassez de estudos sobre o processo de secagem de frutos de jurubeba, torna se de essencial importância a caracterização das curvas de secagem deste produto.

As informações obtidas por meio do levantamento das curvas de secagem de produtos agrícolas fornecem parâmetros técnicos para definir as condições de operação para a secagem e consequentemente para o dimensionamento de equipamentos, como a seleção de ventiladores e trocadores de calor. Além disso, com as curvas de secagem é possível estimar o tempo necessário para proceder a secagem de uma determinada quantidade produto, e com isso estimar o consumo de energia e o custo do processo, permitindo assim realizar o planejamento da produção e estimar o respectivo custo do produto final (VILELA e ARTUR, 2008).

Para o consumo na forma de conserva (picles) e como aditivo em aguardente, são usados os frutos de jurubeba verdes. Porém, visando o uso medicinal torna-se interessante conhecer as propriedades desse fruto nos estágios de maturação verde e maduro. No decorrer da maturação do fruto pode ocorrer o aumento ou a diminuição do teor de determinados metabólitos secundários e a formação de outras substâncias. Visto que não há estudo referente ao processo de secagem artificial dessa planta medicinal, é importante estudar a cinética de secagem dos frutos verdes e maduros de jurubeba, visto a possibilidade de diferentes teores e composições de metabólitos secundários para uso medicinal.

Diante do exposto, objetivou-se com o presente trabalho avaliar o efeito de diferentes temperaturas do ar na cinética de secagem em camada delgada de frutos verdes e maduros de jurubeba, ajustar, estatisticamente, modelos matemáticos aos dados experimentais para predizer as curvas de secagem, bem como determinar o coeficiente de difusão efetivo, a taxa de redução de água e a energia de ativação durante o processo de secagem.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi conduzido no Laboratório de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas, da Faculdade de Ciências Agrárias – FCA, da Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD, em Dourados/MS.

Para a condução do experimento foram cultivadas 150 plantas de jurubeba, as quais tiveram as mudas transplantadas em setembro de 2016, em uma área experimental, de aproximadamente 500 m², situada na Unidade 2 da UFGD. Para a implantação e durante o desenvolvimento da cultura, até a sua colheita, foram executados todos os tratos culturais necessários (preparo e correção de solo, controle de plantas, irrigação e controle de pragas) para o bom desenvolvimento vegetativo da cultura, visando obter características homogêneas.

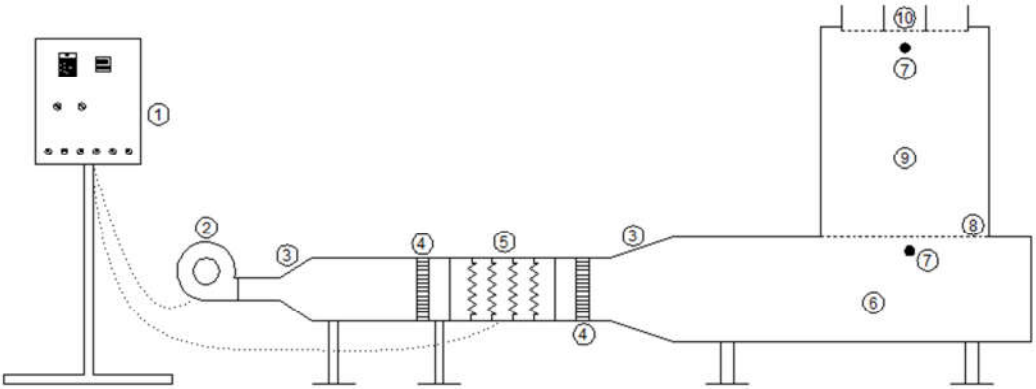
Os frutos de jurubeba foram coletados em dois estágios de maturação, sendo um deles denominado de verde, o qual apresenta coloração verde clara (sistema Hunter de cor: L = 36,60, a = -5,68 e b = 13,01) e o outro denominado de maduro, caracterizado por apresentar coloração amarelada (sistema Hunter de cor: L = 31,44, a = 6,94 e b = 16,74).

A coleta dos frutos verdes foi realizada entre os meses de agosto e setembro de 2017, já os maduros foram coletados entre os meses de novembro e dezembro de 2017. Independente do estágio de maturação, os frutos foram coletados seletivamente, de modo e evitar aqueles com injúrias ou incidência de doenças, com o objetivo de obter um material com características físicas e químicas homogêneas.

A coleta sempre foi realizada no período da manhã, logo após a ausência de resquícios de orvalho sobre a superfície dos frutos, para não influenciar na caracterização das curvas de secagem. Após a coleta, já no laboratório, foram removidos os pedúnculos dos frutos e em seguida realizada uma nova seleção, verificando a ausência de injúrias e doenças, e uniformizando, visualmente, o tamanho dos frutos destinados aos ensaios de secagem.

Os ensaios de secagem dos frutos verdes e maduros foram realizados em um secador experimental de leito fixo, com controle automático de temperatura e seleção da velocidade do ar de secagem (Figura 1). O leito de secagem em camada fixa foi composto por duas bandejas com fundo perfurado, de 0,20 m de diâmetro cada. Para os ensaios de secagem dos frutos verdes foram utilizados 231 g de material em cada

bandeja, já para os frutos maduros foram utilizados aproximadamente 288 g de material por bandeja.



1- Painel de controle; **2**- Ventilador centrífugo; **3**- Expansões; **4**- Homogeneizadores de ar; **5**- Resistências elétricas; **6**- Plenum; **7**- Ponto de medição de temperatura do ar; **8**- Fundo telado; **9**- Leito de secagem; **10**- Bandejas para secagem em camada delgada.

FIGURA 1. Secador experimental utilizado para a secagem dos frutos de jurubeba.
Fonte: Adaptado de Martins (2015).

Os frutos verdes de jurubeba apresentaram teor de água inicial de aproximadamente 2,91 decimal b.s., já os maduros de aproximadamente 1,60 decimal b.s.. A determinação do teor de água inicial e de equilíbrio dos frutos foi realizada pelo método gravimétrico, em estufa a 105 °C, por 12 horas ou até massa constante (AOAC, 1997). Para fins de modelagem matemática, tanto os frutos verdes quanto os maduros foram secos até atingirem o teor de água final de aproximadamente 0,11 decimal b.s..

A caracterização das curvas de secagem dos frutos foi realizada para os frutos verdes e maduros. Para ambos os estágios de maturação, os frutos, foram submetidos a quatro temperaturas (40, 50, 60 e 70 °C) com a velocidade do ar de secagem de 1,5 m s^{-1}. Essa velocidade foi selecionada com base em testes com o produto submetido a essa condição de ar de secagem para verificar se não iria ocorrer fluidização do leito de secagem em camada fixa, e também, essa mesma velocidade do ar foi utilizada para a secagem de frutos de carambola (SANTOS et al., 2010), cajá (GOUVEIA et al., 2003) e pimenta de cheiro (PONTES et al., 2009).

Durante os ensaios de secagem, o teor de água dos frutos foi determinado pelo método gravimétrico, realizando a pesagem das bandejas com as amostras de frutos de jurubeba, utilizando uma balança com resolução de 0,01 g. As bandejas com as amostras, no decorrer do processo de secagem, foram pesadas periodicamente, com

intervalos de pesagens pré-estabelecidos para o início do processo de secagem e aumentados no decorrer do processo com base na diferença de massa das amostras entre as pesagens, de modo a não permitir diferenças acentuadas no teor de água entre as aferições (conhecendo-se a massa e o teor de água inicial da amostra).

A razão de umidade dos frutos verdes e maduros durante a secagem, para as diferentes temperaturas do ar, foi determinada pela Equação 1.

$$RU = \frac{U - U_e}{U_i - U_e} \quad (1)$$

em que:

RU: razão de umidade do produto, adimensional;

U: teor de água do produto em um determinado tempo, decimal b.s.;

U_e: teor de água de equilíbrio do produto, decimal b.s.; e

U_i: teor de água inicial do produto, decimal b.s..

Aos dados razão de umidade dos frutos verdes e maduros de jurubeba, obtidos experimentalmente durante a secagem, foram ajustados modelos matemáticos tradicionalmente utilizados para predizer a secagem em camada delgada de produtos agrícolas (Tabela 1), modelos estes utilizados por diversos pesquisadores em estudos com plantas medicinais e frutos (MARTINS et al., 2018; CORRÊA FILHO et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2015; SOUSA et al., 2014; SANTOS et al., 2010).

TABELA 1. Modelos matemáticos utilizados para estimar as curvas de secagem dos frutos verdes e maduros de jurubeba

Designação do modelo	Modelo	Equação
Aproximação da difusão	$RU = a \exp(-k\,\theta) + (1 - a) \exp(-k\,b\,\theta)$	(2)
Dois termos	$RU = a \exp(-k_o\,\theta) + b \exp(-k_1\,\theta)$	(3)
Exponencial de Dois Termos	$RU = a \exp(-k\,\theta) + (1 - a) \exp(-k\,a\,\theta)$	(4)
Henderson e Pabis	$RU = a \exp(-k\,\theta)$	(5)
Logarítmico	$RU = a \exp(-k\,\theta) + c$	(6)
Midilli	$RU = a \exp(-k\,\theta^n) + b\,\theta$	(7)
Newton	$RU = \exp(-k\,\theta)$	(8)
Page	$RU = \exp(-k\,\theta^n)$	(9)

em que:

θ: tempo de secagem, h;

k, k_o, k_1: constantes de secagem, h^{-1}; e

a, b, c, n: coeficientes dos modelos.

Durante a secagem dos frutos de jurubeba, foi determinada a taxa de redução de água (TRA) utilizando a Equação 10, descrita por Corrêa et al. (2001).

$$TRA = \frac{Ma_0 - Ma_i}{MS(t_i - t_0)} \tag{10}$$

em que:

TRA: taxa de redução de água, kg kg^{-1} h^{-1};

Ma_0: massa de água total anterior, kg;

Ma_i: massa de água total atual, kg;

MS: massa de matéria seca, kg;

t_0: tempo total de secagem anterior, h; e

t_i: tempo total de secagem atual, h.

O coeficiente de difusão efetivo dos frutos verdes e maduros de jurubeba foi obtido por meio do ajuste do modelo matemático da difusão líquida, Equação 11, aos dados observados durante a secagem dos frutos para as diferentes temperaturas do ar. A Equação 11 é a solução analítica para a segunda lei de Fick, a qual foi utilizada com aproximação de oito termos, e considera a forma geométrica do produto como esférica.

$$RU = \frac{U - U_e}{U_i - U_e} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n_t=1}^{\infty} \frac{1}{n_t^2} \exp\left[-\frac{n_t^2 \, \pi^2 \, D_i \, \theta}{9} \left(\frac{3}{R_e} \right)^2 \right] \tag{11}$$

em que:

D_i: coeficiente de difusão, m^2 s^{-1};

R_e: raio equivalente, m; e

n_t: número de termos.

O raio equivalente, é necessário para determinação do coeficiente de difusão efetivo (Equação 11), é definido como o raio de uma esfera cujo o volume é igual ao do produto em estudo. Logo, para a determinação do raio equivalente para os frutos verdes e maduros de jurubeba, efetuou-se a medição dos três eixos ortogonais (comprimento, largura e espessura) dos frutos. A medição dos eixos ortogonais foi realizada em 50 frutos verdes e 50 frutos maduros, escolhidos aleatoriamente, utilizando um paquímetro digital, com resolução de 0,01 mm. O volume médio dos frutos verdes e dos maduros foi calculado com base nas medidas dos eixos ortogonais, utilizando a Equação 12, descrita por Mohsenin (1986).

$$V = \frac{\pi\ a\ b\ c}{6} \tag{12}$$

em que:

V: volume dos frutos, mm^3;

a: comprimento do fruto, mm;

b: largura do fruto, mm; e

c: espessura do fruto, mm.

Para avaliar o efeito da temperatura sobre o coeficiente de difusão efetivo (D_i), foi utilizada a equação de Arrhenius, conforme descrita na Equação 13.

$$D_i = D_o\ \exp\left(\frac{E_a}{R\ T_a}\right) \tag{13}$$

em que:

D_o: fator pré-exponencial;

E_a: energia de ativação, kJ mol^{-1};

R: constante universal dos gases, 8,314 kJ $kmol^{-1}$ K^{-1}; e

T_a: temperatura absoluta, K.

Aos dados observados de razão de umidade, obtidos durante a secagem dos frutos verdes e dos maduros de jurubeba nas diferentes temperaturas do ar de secagem,

foram ajustados os modelos matemáticos (Tabela 1) por meio da análise de regressão não linear, pelo método de Gauss-Newton, utilizando um programa estatístico.

Para a seleção do modelo matemático para representar o processo de secagem dos frutos verdes e maduros para as diferentes temperaturas do ar de secagem foi avaliado o grau de ajuste de cada modelo por meio da análise dos valores do coeficiente de determinação ajustado (R^2), do erro médio relativo (P), no qual os valores desta variável indicam o desvio dos valores estimados pelo modelo com relação aos valores observados experimentalmente (KASHANINEJAD et al., 2007). Avaliaram-se também os valores do desvio padrão da estimativa (SE), o qual indica a propensão de um modelo representar com fidelidade um determinado processo físico, e que quanto menor seus valores melhor a qualidade do ajuste do modelo aos dados observados (DRAPER e SMITH, 1998).

Os valores de P e SE foram calculados utilizando as Equações 14 e 15, respectivamente.

$$P = \frac{100}{n_o}\sum_{i=1}^{n_o}\left(\frac{\left|Y-\hat{Y}\right|}{Y}\right) \tag{14}$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_o}\left(Y-\hat{Y}\right)^2}{GLR}} \tag{15}$$

em que:

n_o: número de observações experimentais;

Y: valor observado experimentalmente;

$\hat{Y}$: valor estimado pelo modelo; e

GLR: graus de liberdade do modelo.

Foi utilizado, também, como critério para a seleção dos modelos matemáticos avaliados, que o modelo escolhido deve se ajustar satisfatoriamente a todas as condições do ar de secagem, tanto para os frutos verdes de jurubeba quanto para os frutos maduros.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre os modelos matemáticos ajustados as diferentes condições do ar de secagem dos frutos verdes e frutos maduros de jurubeba, apenas o modelo de Midilli (7) apresentou valor de erro médio relativo (P) inferior a 10% para todas as temperaturas do ar de secagem (Tabela 2), indicando que este modelo é adequado para representar o processo em estudo. Segundo Mohapatra e Rao (2005), modelos matemáticos que apresentam valores de P superiores a 10% não são adequados para representar a cinética de secagem.

TABELA 2. Parâmetros estatísticos obtidos na secagem dos frutos verdes e maduros de jurubeba

Modelos	Frutos verdes			Frutos maduros		
	SE (decimal)	P (%)	R^2 (decimal)	SE (decimal)	P (%)	R^2 (decimal)
			40°C			
(2)	0,0140	4,9850	0,9983	0,0087	3,3980	0,9993
(3)	0,0254	20,6320	0,9946	0,0274	19,1495	0,9930
(4)	0,0250	20,6394	0,9946	0,0276	19,6473	0,9928
(5)	0,0250	20,6316	0,9946	0,0271	19,1142	0,9930
(6)	0,0092	3,5875	0,9993	0,0066	4,4013	0,9996
(7)	0,0063	4,7118	0,9997	0,0072	4,5781	0,9995
(8)	0,0248	20,5988	0,9946	0,0274	19,6447	0,9928
(9)	0,0226	16,5585	0,9955	0,0201	12,2425	0,9962
Modelos			50°C			
(2)	0,0289	18,8549	0,9928	0,0121	7,1897	0,9988
(3)	0,0258	17,0766	0,9945	0,0255	20,8121	0,9948
(4)	0,0427	30,8698	0,9841	0,0130	8,5480	0,9986
(5)	0,0419	29,9530	0,9846	0,0252	20,8123	0,9948
(6)	0,0099	6,0910	0,9992	0,0132	12,0595	0,9986
(7)	0,0105	6,6589	0,9991	0,0091	6,0199	0,9993
(8)	0,0422	30,8655	0,9841	0,0265	22,7024	0,9942
(9)	0,0312	19,2298	0,9915	0,0151	8,8690	0,9981
Modelos			60°C			
(2)	0,0266	19,1835	0,9942	0,0692	15,2825	0,9578
(3)	0,0515	41,8374	0,9788	0,0149	8,8880	0,9981
(4)	0,0281	21,1555	0,9932	0,0096	3,2848	0,9992
(5)	0,0489	38,0507	0,9795	0,0239	12,7661	0,9949
(6)	0,0124	8,6721	0,9987	0,0166	9,8769	0,9976
(7)	0,0106	6,1635	0,9991	0,0084	3,0068	0,9994
(8)	0,0518	41,7265	0,9763	0,0273	15,7558	0,9931
(9)	0,0271	17,2500	0,9937	0,0116	3,6775	0,9988
Modelos			70°C			
(2)	0,0220	25,6280	0,9963	0,0118	9,6126	0,9988
(3)	0,0448	51,2864	0,9854	0,0106	8,1246	0,9990
(4)	0,0235	28,7522	0,9955	0,0051	4,5666	0,9998
(5)	0,0427	51,2881	0,9854	0,0145	7,2271	0,9981
(6)	0,0152	15,9964	0,9982	0,0120	8,7680	0,9987
(7)	0,0108	9,0402	0,9992	0,0052	1,7945	0,9998
(8)	0,0468	58,1189	0,9816	0,0179	10,6523	0,9970
(9)	0,0226	23,4328	0,9959	0,0063	4,3624	0,9996

A análise do desvio padrão da estimativa (SE) e do coeficiente de determinação (R^2), corroboram com a seleção do modelo de Midilli (7), com base nos valores de P, para representar o processo de secagem de frutos verdes e maduros de jurubeba. Isso porque os menores valores do SE obtidos para o modelo de Midilli durante a secagem dos frutos de jurubeba, verdes e maduros, enfatizam que este modelo se ajusta satisfatoriamente ao processo de secagem (Tabela 2), além dos valores do R^2, para este modelo, possuirem valores superiores a 0,99 (Tabela 2), o que segundo Kashaninejad et al. (2007) indica uma representação satisfatória do modelo ao processo em estudo.

Com base nos parâmetros analisados foi selecionado o modelo de Midilli (7) para representar o processo de secagem de frutos, verdes e maduros, de jurubeba para diferentes condições do ar de secagem. Este modelo também foi selecionado para representar o processo de secagem de outros frutos, como frutos de morango (SOUSA et al., 2014), frutos de *Capsicum chinense* Jacqui (REIS et al., 2011), frutos de *Ficus carica* L. (CORRÊA FILHO et al., 2015) e para diversas plantas medicinais, como para folhas de *Morus nigra* L. (MARTINS et al., 2018), cascas de *Erythrina velutina* (MARTINS et al., 2014), folhas de *Schinus terebinthifolius* (GONELI et al., 2014).

A aplicabilidade e o bom ajuste do modelo de Midilli para representar o processo de secagem dos frutos da jurubeba, verdes e maduros, são confirmados pela proximidade dos valores estimados de razão de umidade aos valores observados experimentalmente (Figuras 2 e 3).

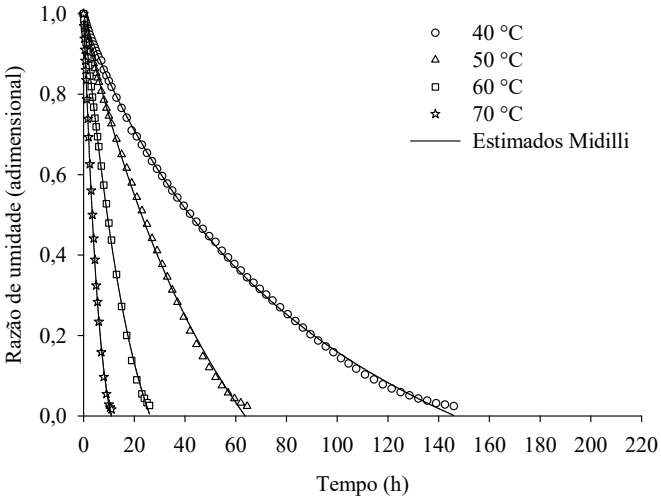


FIGURA 2. Valores de razão de umidade experimentais e estimados pelo modelo de Midilli para a secagem frutos verdes de jurubeba em camada delgada. Dourados, UFGD, 2019.

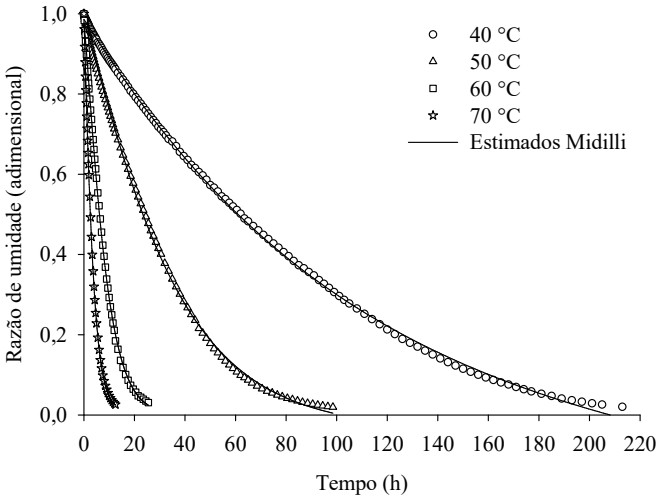


FIGURA 3. Valores de razão de umidade experimentais e estimados pelo modelo de Midilli para a secagem frutos maduros de jurubeba em camada delgada. Dourados, UFGD, 2019.

Ao se elevar a temperatura do ar, reduziu-se o tempo de secagem dos frutos de jurubeba (Figuras 2 e 3), comportamento esse observado para diversos produtos agrícolas, como para frutos de *Fragaria* L. (OLIVEIRA et al., 2015), frutos de *Averrhoa carambola* L. (SANTOS et al., 2010), frutos de *Spondias lutea* L. (GOUVEIA et al., 2003), frutos de *Capsicum chinense Jacqui* (REIS et al., 2011).

Para que os frutos verdes atingissem o teor de água de aproximadamente 0,11 decimal b.s. foram necessárias 146,00; 64,50; 26,00 e 11,00 horas para as temperaturas do ar de secagem de 40, 50, 60 e 70 °C, respectivamente (Figura 2), enquanto para os frutos maduros, nas mesmas condições de secagem dos frutos verdes, foram necessárias 213,00; 98,50; 25,50 e 12,50 horas (Figura 3).

O tempo de secagem necessário para que os frutos verdes de jurubeba atingissem o teor de água de aproximadamente 0,11 decimal b.s., nas temperaturas do ar de 40 e 50 °C, foram aproximadamente 31,5 e 34,5% menores, respectivamente, quando comparado ao tempo de secagem dos frutos maduros nessas mesmas condições (Figuras 2 e 3), podendo essa ser considerada uma diferença expressiva no tempo de secagem. Já, para as temperaturas do ar de secagem de 60 e 70 °C, o tempo para secagem dos frutos verdes e maduros não apresentaram diferenças expressiva.

O maior tempo demandado para a secagem dos frutos maduros de jurubeba com relação aos frutos verdes, provavelmente esteja associado ao maior teor de açúcares presentes no fruto maduro de jurubeba com relação ao fruto verde. Os açúcares são moléculas polares e como as moléculas de água também são polares, pode haver

uma interação dipolo-dipolo, em que os açúcares podem ser dissolvidos na água fazendo com que o processo de remoção de água durante a secagem seja mais difícil.

Outro fator que colabora para o maior tempo para que ocorra a secagem dos frutos maduros com relação aos verdes é o tamanho desses frutos, pois os frutos verdes apresentaram raio equivalente inicial igual a 5,72 mm enquanto os maduros 6,30 mm. O maior tamanho dos frutos maduros retarda o processo de retirada da água presente no produto por meio da secagem, principalmente nas menores temperaturas (40 e 50 °C).

A constante "k" de secagem do modelo de Midilli, ajustado aos dados observados de razão de umidade dos frutos de jurubeba, tanto dos frutos verdes quanto dos maduros, apresentou aumento em seus valores com a elevação da temperatura do ar de secagem (Tabela 3). Essa tendência da constante "k" pode ser atribuída, segundo Babalis e Belessiotis (2004), devido a constate de secagem "k" poder ser utilizada como uma aproximação para caracterizar o efeito da temperatura do ar no processo de secagem, e também está relacionada com a difusividade efetiva do processo.

TABELA 3. Parâmetros do modelo de Midilli para as diferentes temperaturas do ar de secagem dos frutos de jurubeba

Temperatura	Frutos verdes				Frutos maduros			
(°C)	a	k	n	b	a	k	n	b
40	0,9969	0,0206	0,9047	-0,0010	0,9861	0,0089	1,0318	-0,0005
50	0,9844	0,0228	1,0048	-0,0035	0,9757	0,0169	1,1613	-0,0003
60	0,9801	0,0416	1,1774	-0,0053	0,9737	0,0721	1,2235	0,0001
70	0,9797	0,1414	1,2147	-0,0067	0,9858	0,2322	1,1442	0,0008

A taxa de redução de água (TRA) é conceituada como a quantidade de água que o produto perde por unidade de matéria seca por unidade tempo (CORRÊA et al., 2001). No início do processo de secagem, quanto maior a temperatura do ar, maior são os valores de TRA para os frutos verdes e maduros (Figuras 4 e 5).

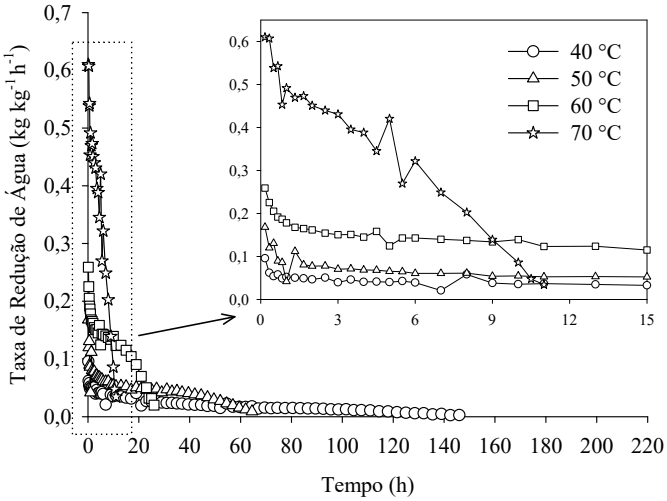


FIGURA 4. Taxa de redução de água para os frutos verdes de jurubeba durante o processo de secagem. Dourados, UFGD, 2019.

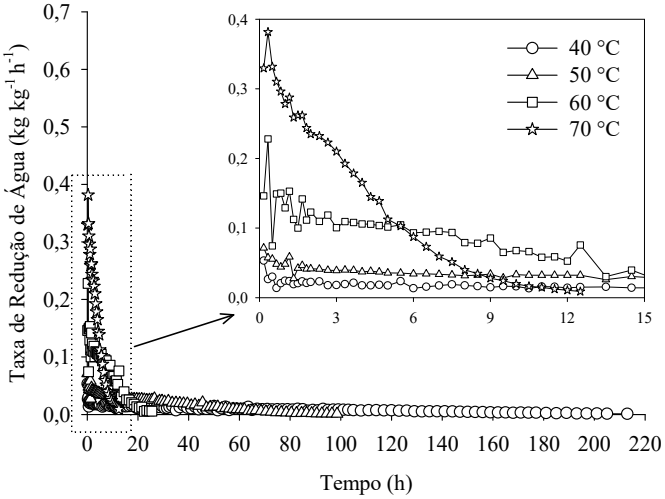


FIGURA 5. Taxa de redução de água para os frutos maduros de jurubeba durante o processo de secagem. Dourados, UFGD, 2019.

A TRA dos frutos verdes de jurubeba, no início do processo de secagem, para todas as temperaturas do ar, apresentam valores maiores do que a TRA dos frutos maduros de jurubeba (Figuras 4 e 5), indicando que a remoção de água dos frutos maduros de jurubeba é mais lenta do que dos frutos verdes.

Após as primeiras horas de secagem dos frutos verdes e maduros de jurubeba a TRA reduziu, principalmente para as maiores temperaturas do ar de secagem (60 e 70 °C), o mesmo ocorre nas menores temperaturas do ar (40 e 50 °C), porém a redução foi menos acentuada. Logo após as primeiras horas de secagem, independente

da temperatura do ar, os frutos verdes e maduros de jurubeba apresentaram valores semelhantes de TRA (Figuras 4 e 5).

Segundo Kashaninejad et al. (2007) esse comportamento pode ser explicado pelo fato de no início do processo de secagem a água a ser evaporada vir de partes próximas a superfície do produto, o que proporciona uma maior taxa de secagem para essa etapa do processo. Já à medida que a secagem prossegue ocorre a redução do teor de água do produto e a água a ser evaporada passa se deslocar de células mais internas para a superfície do produto, fazendo com que a taxa de secagem reduza.

Durante a secagem, para a faixa de temperatura de 40 a 70 °C, os valores médios do coeficiente de difusão efetivo (D_i), para os frutos verdes de jurubeba, com raio equivalente inicial igual a 5,72 mm, variaram de 0,8614 a 10,6165 x 10^{-11} m^2 s^{-1}, já para os frutos maduros, com raio equivalente inicial igual 6,30 mm, variam de 0,6713 a 17,2250 x 10^{-11} m^2 s^{-1} (Tabela 4).

TABELA 4. Coeficiente de difusão efetivo (D_i) ajustado as diferentes temperaturas de secagem em camada delgada dos frutos de jurubeba

Temperatura (°C)	Frutos verdes	Frutos maduros
	D_i x 10^{-11} m^2 s^{-1}	
40	0,8614	0,6713
50	1,5415	1,8562
60	3,5474	6,8772
70	10,6165	17,2250

Com a elevação da temperatura do ar de secagem ocorreu o aumento dos valores médios do D_i para os frutos verdes e maduros de jurubeba (Tabela 4). Esse comportamento era esperado, pois conforme explicam Goneli et al. (2009), ao elevar a temperatura do ar de secagem, reduz-se a viscosidade da água, o que favorece a movimentação do fluído no produto, e ainda a elevação na temperatura, também promove o aumento do nível de vibração das moléculas de água no produto. Estes dois fatores favorecem a movimentação de água no produto, elevando os valores do D_i.

A energia de ativação, obtida por meio dos coeficientes da equação de Arrhenius ajustados aos valores de D_i para os frutos verdes e maduros de jurubeba, calculados de acordo com a Equação 13, é de 74,45 e 98,67 kJ mol^{-1} para os frutos verdes e maduros de jurubeba, respectivamente, para a faixa de temperatura do ar de secagem de 40 a 70 °C. A energia de ativação é conceituada por Kashaninejad et al. (2007) como um barreira que deve ser ultrapassada para que o processo de difusão

possa ser desencadeado no produto. Logo os frutos maduros de jurubeba necessitam de uma maior energia de ativação para iniciar o processo de difusão.

Os frutos verdes e maduros de jurubeba, para a faixa de temperatura do ar de secagem de 40 a 70 °C, apresentaram valores de energia de ativação maior do que encontrado para frutos de morango 2,12 kJ mol^{-1} (OLIVEIRA et al., 2015), para pimentas Cumari do Pará 5,02 kJ mol^{-1} (REIS et al., 2011); para banana maçã fatiada em rodelas com diferentes espessura para o qual a energia de ativação variou de 23,78 a 35,54 kJ mol^{-1} (SILVA et al., 2009). Os valores de energia de ativação obtidos para os frutos de jurubeba, apesar de serem consideravelmente maiores do que os obtidos para outros frutos, encontram-se dentro da faixa de 12,7 a 110 kJ mol^{-1} definida por Zogzas et al. (1996) para produtos alimentícios.

4. CONCLUSÕES

O único modelo matemático que se ajustou as todas as temperaturas do ar de secagem para os frutos verdes e maduros de jurubeba foi o de Midilli.

O aumento da temperatura do ar promoveu a redução do tempo de secagem dos frutos de jurubeba. Os frutos verdes de jurubeba demandaram menor tempo de secagem do que os frutos maduros para atingirem o mesmo teor de água final.

O coeficiente de difusão efetivo teve seus valores aumentados com a elevação da temperatura do ar de secagem, tanto para os frutos maduros quanto para os verdes.

Os frutos verdes de jurubeba apresentaram menor valor de energia de ativação (74,45 kJ mol^{-1}), quando comparados aos frutos maduros (98,67 kJ mol^{-1}).

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. **Official methods of analysis.** 16 ed. Maryland,1997. 1141 p.

BABALIS, S. J.; BELESSIOTIS, V. G. Influence of the drying condition on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs. **Journal of Food Engineering**, v. 65, n. 3, p. 449-458, 2004.

CORRÊA FILHO, L. C.; ANDRADE, E. T. de; MARTINAZZO, A. P.; D'ANDREA, E. M.; SOUSA, F. A. de; FIGUEIRA, V. G. 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.

CORRÊA, P. C.; MACHADO, P. F.; ANDRADE, E. T. Cinética de secagem e qualidade de grãos de milho-pipoca. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 25, n. 1, p. 134-142, 2001.

DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 3 ed. New York: John Wiley & Sons, 1998. 712p.

GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; AFONSO JÚNIOR, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H. Cinética de secagem dos grãos de café descascados em camada delgada. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Especial Café - Viçosa - MG, n. 11, p. 64-73, 2009.

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.

GOUVEIA, J. P. G. de; ALMEIDA, F. de A. C.; FARIAS, E. da S.; SILVA, M. M. da; CHAVES, M. da C. V.; REIS, L. S. Determinação das curvas de secagem em frutos de cajá. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Especial, n. 1, p. 65-68, 2003.

GRANDI, S. M. **Tratado das plantas medicinais**: mineiras, nativas e cultivadas. 1 ed. Dados eletrônicos – Belo Horizonte: Adaequatio Estúdio, 2014. 1204 p.

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.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. **Plantas medicinais no Brasil:** Nativas e exóticas. 2 ed. Nova Odessa-SP: Instituto Plantarum de Estudos da Flora Ltda, 2008. 544p.

MACHADO, N. G.; AQUINO, B. G.; NEVES, G. A. P. C. Espécies nativas de plantas frutíferas em uma área de Cerrado em Mato Grosso, Brasil. **Revista Monografias Ambientais - REMOA**, v. 14, n. 3, p. 3306-3315, 2014.

MARTINS, E. A. S. **Dimensionamento e experimentação de um secador de leito fixo para a secagem de produtos agrícolas**. 2015. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

MARTINS, E. A. S.; GONELI, A. L. D.; GONCALVES, A. A.; HARTMANN FILHO, C. P.; SIQUEIRA, V. C.; OBA, G. C. Drying kinetics of blackberry leaves. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 8, p. 570-576, 2018.

MARTINS, J. J. A.; MARQUES, J. I.; SANTOS, D. da C.; ROCHA, A. P. T. Modelagem matemática da secagem de cascas de mulungu. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 6, p. 1652-1660, 2014.

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.

MOSHENIN, N. N. **Physical properties of plant and animal materials**. New York: Gordon and Breach Publishers, 1986. 841p.

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 Food Technology**, v. 18, n. 4, p. 314-321, 2015.

PONTES, S. F. O.; SANTOS, C. T.; BONOMO, R. C. F.; PONTES, L. V.; FONTAN, R. da C. I. Determinação das curvas de secagem em camada delgada de pimenta de cheiro (*Capsicum chinense*) a diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 11, n. 2, p. 143-148, 2009.

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

SANTOS, C. T.; BONOMO, R. F.; CHAVES, M. A.; FONTAN, R. da C. I.; BONOMO, P. Cinética e modelagem da secagem de carambola (*Averrhoa carambola* L.) em secador de bandeja. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 32, n. 3, p. 309-313, 2010.

SILVA, A. S. A.; MELO, K. dos S.; ALVES, N. M. C.; FERNANDES, T. K. da S.; FARIAS, P. de A. Cinética de secagem em camada fina da banana maçã em secador de leito fixo. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 11, n. 2, p. 129-136, 2009.

SOUSA, F. A. de; ANDRADE, E. T. de; FIGUEIRA, V. G.; D'ANDREA, E. de M.; CORRÊA FILHO, L. C. Estudo da cinética de secagem, contração volumétrica e análise da difusão líquida do morango (*Fragaria sp*.). **ENGEVISTA**, v. 16, n. 1, p. 8-18, 2014.

TERÇO, J. W. dos S.; LIMA, R. A. Identificação das classes de metabólitos secundários no extrato etanólico dos frutos e folhas de *Solanum paniculatum* L. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, v. 3, n. 2, p. 92-99, 2016.

VILELA, C. A. A.; ARTUR, P. O. Secagem do açafrão (*Curcuma longa* L.) em diferentes cortes geométricos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 2, p. 387-394, 2008.

ZOGZAS, N. P.; MAROULIS, Z. B.; MARINOS-KOURIS, D. Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs. **Drying Technology**, v. 14, n. 10, p. 2225-2253, 1996.

CAPÍTULO III

COMPOSIÇÃO QUÍMICA E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DOS EXTRATOS AQUOSOS DE FOLHAS E FRUTOS DE *Solanum paniculatum* L. SUBMETIDOS À SECAGEM

1. INTRODUÇÃO

A *Solanum paniculatum* L. (jurubeba, Solanaceae) é uma planta nativa, que ocorre em todas as regiões do Brasil. É uma planta muito popular devido ao uso culinário dos seus frutos, os quais são normalmente consumidos na forma de conservas ou como aditivo em aguardente (LORENZI e MATOS, 2008).

Além do uso na culinária, a jurubeba também é utilizada como planta medicinal. As folhas, frutos e raízes são usados na medicina tradicional contra problemas hepáticos, além de ser empregada como colagoga, emenagoga, cicatrizante, febrífuga, anti-inflamatória, antipirética, tônica, descongestionante, diurética e na inapetência (GARLET et al., 2017; GRANDI, 2014; KAZIYAMA et al., 2012; LORENZI e MATOS, 2008; MESIA-VELA et al., 2002).

Dentre as estruturas da jurubeba, as folhas e frutos são muito utilizados na medicina tradicional. Terço e Lima (2016), por meio de identificação fitoquímica, identificaram no extrato etanólico de folhas de jurubeba a presença de alcaloides, glicosídeos cardiotônicos, taninos, saponinas e triterpenos, já no extrato etanólico dos frutos foram identificados os mesmos grupos de compostos, além de cumarinas.

Os frutos de jurubeba, para fins medicinais, podem ser utilizados na forma de infuso, tintura, extrato fluido e vinho, sendo utilizados para afecções hepáticas, colagogo, tônico, febrífugo, anti-inflamatório, antipirético e na inapetência (GRANDI, 2014). Normalmente, o fruto da jurubeba é consumido no seu estágio de maturação verde, sendo pouco explorado na sua forma madura, devido a dureza da semente nessa fase, porém para fins medicinais, o uso do fruto maduro pode se tornar interessante, visto que durante a maturação pode ocorrer o aumento ou redução do teor de determinadas substâncias, ou até mesmo a síntese de outras substâncias de interesse medicinal.

As folhas de jurubeba, na medicina tradicional, são usadas na forma de infusão como remédio contra ressacas após o consumo exagerado de álcool e comida. Também é realizado o uso externo como cicatrizante de feridas, contra úlceras, pruridos e contusões, porém na forma de chá por decocção (LORENZI e MATOS, 2008). Rodrigues e Carvalho (2001), relatam que o suco do fruto de jururubeba também é usado no tratamento de problemas de fígado, de estômago, nas inflamações do baço e da bexiga, e a infusão das folhas, frutos e raízes é utilizada contra tumores internos.

Uma das características da jurubeba é que o seu extrato apresenta capacidade antioxidante, tanto nas folhas (RIBEIRO et al., 2007), como nos frutos (GREGORIS et al., 2013). Na dieta humana, os compostos fenólicos são os antioxidantes mais abundantes. O metabolismo das plantas sintetizam centenas de compostos fenólicos e polifenólicos, os quais possuem diversas estruturas e funções, dentre eles, os mais estudados como antioxidantes são os flavonóides que possuem em comum a estrutura C6-C3-C6, consistindo de dois anéis aromáticos ligados por um heterocíclico oxigenado (CERQUEIRA et al., 2007).

Uma outra classe de metabólitos encontrada na espécie são os alcaloides. Estes podem ser utilizados na indústria tanto de medicamentos como de veneno (TERÇO e LIMA, 2017). Consta na RDC N.° 26, de 13 de maio de 2014 (BRASIL, 2014), que qualquer espécie do gênero *Solanum* não pode conter mais que 10 mg de alcaloides esteroidais para o uso interno, deste modo, a *Solanum paniculatum* possui restrições para o registro/notificação de medicamentos fitoterápicos e produtos fitoterápicos. Segundo Mesia-Vela et al. (2002) já foram isolados diversos alcaloides esteroidais de *Solanum paniculatum*, como a jurubebina, jubebina e solanina. Portanto é importante atentar-se a dose utilizada destas substâncias por meio da ingestão de produtos dervivados da jurubeba.

Dentre os cuidados pós-colheita com a matéria-prima vegetal para a fabricação de medicamentos fitoterápicos, a secagem e o armazenamento, são essenciais para a obtenção de um produto de qualidade. Se não realizada adequadamente, a secagem pode comprometer o teor dos princípios ativos do material vegetal (MARTINAZZO et al., 2013).

O processo de secagem de plantas medicinais é bastante estudado, porém a maioria dos trabalhos avalia apenas o efeito de diferentes métodos/condições do ar de secagem na cinética de secagem destes produtos (MARTINS et al., 2018; ALVES et al., 2017; PRATES et al., 2012; RADÜNZ et al.; 2011). Estes trabalhos de caracterização

das curvas de secagem de plantas medicinais sem um estudo conjunto do efeito do processo de secagem na qualidade destes produtos (rendimentos de metabólitos secundários) não traz parâmetros suficientes para a tomada de decisão de como proceder a secagem de plantas medicinais.

A temperatura do ar de secagem é um fator determinante na qualidade e rendimento de metabólitos secundários de plantas medicinais. Visto isso, nas duas últimas décadas intensificaram-se os estudos avaliando os efeitos do processo de secagem na qualidade e rendimentos de metabólitos secundários de plantas medicinais (GASPARIN et al., 2014; ROCHA et al., 2014; MARTINAZZO et al., 2013; LEMOS et al., 2012; ROCHA et al., 2012; DIAS et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2011; RADÜNZ et al., 2010).

Diante do exposto, objetivou-se com o presente trabalho, avaliar a atividade antioxidante, o teor de compostos fenólicos e de alcaloides totais dos extratos aquosos preparados a partir de folhas e frutos (verdes e maduros) de jurubeba submetida a diferentes condições do ar de secagem.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. OBTENÇÃO E SECAGEM DO MATERIAL VEGETAL

O material vegetal coletado foi proveniente do cultivo de 150 plantas de jurubeba, as quais foram preparadas as mudas e transplantadas no mês de setembro de 2016, em uma área experimental situada nas dependências da Faculdade de Ciências Agrárias, Unidade II da Universidade Federal da Grande Dourados.

As plantas de jurubeba foram cultivadas especificamente para a realização deste trabalho, visando obter um produto com características físicas e químicas homogêneas. Para a implantação e durante o desenvolvimento da cultura foram realizados todos os tratos culturais (preparo e correção de solo, controle de plantas daninhas e insetos) além de manter a umidade solo da área experimental por meio de um sistema de irrigação por gotejamento, visando o bom desenvolvimento da cultura.

A coleta das folhas e frutos de jurubeba foi realizada de maneira seletiva, selecionando-se material sem injúrias ou com incidência de doenças, com a finalidade de garantir a homogeneidade das características físicas e químicas do produto. O

material vegetal foi sempre coletado no período da manhã, evitando-se coletar material após precipitações ou com resquícios de orvalho na superfície.

Após a coleta, o material vegetal, foi encaminhado para o Laboratório de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas, onde foi imediatamente realizada a secagem do mesmo, utilizando um secador experimental de leito fixo, conforme descrito por Goneli et al. (2016), ou seja, a cada dia era coletada uma amostra de material vegetal (folhas ou frutos) e procedida a secagem em uma determinada condição do ar.

As folhas de jurubeba foram coletadas entre os meses de junho e julho de 2017. Logo após a coleta foi determinado o teor de água inicial das folhas de jurubeba por meio do método gravimétrico, em estufa a 103 ºC, durante 24 h em triplicata (ASABE, 2010), as quais apresentaram teor de água inicial de aproximadamente 2,76 decimal b.s.. Em seguida, procedeu-se a secagem das folhas para diferentes condições do ar de secagem (Tabela 1), até as mesmas atingirem o teor de água final de aproximadamente 0,11 decimal b.s..

TABELA 1. Tempo (horas) necessário para as folhas de jurubeba atingirem o teor de água médio de aproximadamente 0,11 decimal b.s. nas diferentes condições do ar de secagem

Velocidade ($m\ s^{-1}$)	Temperatura (°C)			
	40	50	60	70
0,40	12,33	3,17	2,00	0,75
0,80	10,33	2,67	1,58	0,67

Os frutos de jurubeba foram coletados em dois estágios de maturação, sendo eles o verde e o maduro. Os frutos verdes foram coletados e secos entre os meses de agosto e setembro de 2017 e os frutos maduros entre os meses de novembro e dezembro de 2017.

Logo após a coleta foi determinado o teor de água inicial dos frutos por meio do método gravimétrico, em estufa a 105 ºC, durante 12 h ou até massa constante (AOAC, 1997). Os frutos apresentaram teor de água inicial de aproximadamente 2,91 e 1,60 decimal b.s, nos estágios de maturação verde e maduro, respectivamente. Em seguida procedeu-se à secagem dos frutos em diferentes temperaturas e com a velocidade do ar de secagem de 1,5 $m\ s^{-1}$ (Tabela 2), até os frutos atingirem o teor de água final de aproximadamente 0,11 decimal b.s..

TABELA 2. Tempo (horas) necessário para os frutos de jurubeba atingirem o teor de água médio de aproximadamente 0,11 decimal b.s. nas diferentes condições do ar de secagem

Fruto	Temperatura (°C)			
	40	50	60	70
Verde	146,00	64,50	26,00	11,00
Maduro	213,00	98,50	25,50	12,50

2.2. ANALISE DO EXTRATO AQUOSO DAS FOLHAS E FRUTOS DE JURUBEBA

O preparo e análise dos extratos aquosos das folhas e frutos de jurubeba foram realizados nos laboratórios do Centro de Pesquisas em Biodiversidades da Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul, no campus de Dourados/MS.

2.2.1. Preparo dos extratos aquosos das folhas e frutos de jurubeba

O extrato aquoso das folhas e frutos de jurubeba, secos nas diferentes condições do ar de secagem, foi preparado segundo a recomendação disposta na monografia da *Solanum paniculatum* (BRASIL, 2015), a qual menciona que pode ser utilizada a planta inteira, ou seja, qualquer parte da planta, na forma de infusão, podendo ser administrada uma xícara de chá de 3 a 4 vezes ao dia.

Os extratos aquosos foram preparados usando 1 g de folha seca e rasurada em 150 mL de água fervida, por 15 minutos. O mesmo procedimento foi adotado para o preparo dos extratos dos frutos (verdes e maduros), em que foi utilizado 1 g de fruto seco e triturado em 150 mL de água fervida, por 15 minutos.

Para o preparo dos extratos aquosos das folhas e dos frutos (verdes e maduros) frescos foi utilizada uma massa de material vegetal fresco equivalente à massa de matéria seca do material vegetal já desidratado no processo de secagem descrito, ou seja, foram utilizadas aproximadamente 3,4 g de folhas frescas, 3,5 g de frutos verdes frescos e 2,4 g de frutos maduros frescos de jurubeba.

Todos os extratos aquosos obtidos foram submetidos à analise para determinar-se o teor de compostos fenólicos, alcaloides totais e a atividade antioxidante, conforme descrito a seguir.

2.2.2. Determinação do teor de compostos fenólicos

A cada 100 µL de cada extrato, provenientes do material vegetal submetido a diferentes condições de secagem e do material vegetal fresco, adicionaram-se 1,5 mL de solução aquosa de carbonato de sódio a 20%, 0,5 mL de reagente de Follin-Ciocalteau (1/10 v v^{-1}) e 1 mL de água destilada, e aguardou-se cada amostra reagir por 30 minutos. Em seguida fez-se a leitura em espectrofotômetro em comprimento de onda de 760 nm. O mesmo procedimento foi realizado para o branco, sendo substituídos 100 µL de amostra por 100 µL do solvente empregado na solubilização de cada amostra (DJERIDANE et al., 2006).

A concentração de compostos fenólicos foi calculada preparando-se uma curva analítica, empregando-se o ácido gálico como padrão, nas concentrações de 5 a 500 µg mL^{-1}. O procedimento experimental aplicado ao padrão foi o mesmo utilizado para as amostras. Com os dados obtidos do padrão foi plotada a curva de absorbância versus concentração de ácido gálico e ajustada uma regressão linear (a = -0,018; b = 0,0016; R^2 = 0,997), a qual foi utilizada para calcular o teor de compostos fenólicos das amostras reais. Os resultados foram expressos em mg de ácido gálico por g de extrato liofilizado. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

2.2.3. Determinação da atividade antioxidante

Foram avaliadas as atividades antioxidantes dos extratos aquosos pelo radical livre DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazil). A atividade antioxidante foi determinada em uma sala ao abrigo de luz, com uma temperatura controlada à 25 ± 1 ºC e todos os testes foram realizados em triplicata.

O teste antioxidante com o radical livre DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazil) foi realizado nas concentrações de 1, 10, 100, 500, 1000 µg mL^{-1} de cada amostra empregando uma solução preparada de DPPH a 0,004% em metanol. A cada 100 µL da amostra em estudo foram adicionados 3000 µL da solução de DPPH. As leituras em espectrofotômetro no comprimento de onda de 517 nm foram realizadas após 30 minutos de reação (KUMARAN e KARUNAKARAN, 2006). A atividade sequestradora de radicais foi calculada conforme Equação 1:

$$\% \text{ redução DPPH} = \frac{\text{Abs. Branco - Abs. Amostra}}{\text{Abs. Branco}} \cdot 100 \quad (1)$$

em que:

Abs: absorbância.

Os resultados foram apresentados em concentração inibitória mínima (IC_{50}). O IC_{50}, expressa a concentração mínima de antioxidante necessária para reduzir em 50% a concentração inicial de DPPH. A partir das absorbâncias obtidas das diferentes diluições da amostra, plotou-se a % de redução do DPPH no eixo Y e a concentração dos extratos ($\mu g\ mL^{-1}$) no eixo X para obter a concentração da amostra com capacidade de reduzir 50% do DPPH.

2.2.4. Teor de alcaloides totais

A quantificação dos alcaloides totais das infusões preparadas a partir de folhas e frutos (verdes e maduros) secos e frescos de jurubeba foram determinadas de acordo o procedimento desenvolvido por Oliveira et al. (2006), utilizando menores volumes/massas de extrato e reagentes, porém mantendo as concentrações, seguindo a metodologia desenvolvida pelos referidos autores.

De cada amostra das infusões foi retirada uma alíquota de 4 mL (triplicata) e acidificou-se a pH entre 2-2,5 com HCl 1N. Em seguida transferiu-se 4 mL da solução acidificada, de cada repetição, para tubos de ensaio e adicionou-se, a cada tubo, 0,2 mL do Reagente de Dragendorff. Todos os tubos foram então centrifugados a 2400 RPM durante 30 minutos, após a centrifugação, desprezou-se o sobrenadante e tratou-se o resíduo com 0,1 mL de álcool etílico absoluto. Posteriormente adicionou-se 0,2 mL de sulfito de sódio a 1% e centrifugou-se novamente a 2400 RPM durante 30 minutos. A seguir desprezou-se o sobrenadante e tratou-se o resíduo com 0,2 mL de ácido nítrico concentrado. Após os procedimentos descritos transferiu-se o conteúdo resultante, de cada repetição, para balões volumétricos de 5 mL e completou-se o volume com água destilada. Por fim foram retirados 0,5 mL desta solução e adicionou-se 2,5 mL de tiouréia a 3% ($p\ V^{-1}$). Para cada amostra foi realizada a leitura em espectrofotômetro no comprimento de onda de 435 nm. O branco foi obtido pela mistura de acido nítrico e tiouréia.

A concentração de alcaloides foi calculada preparando-se uma curva analítica, empregando a berberina como padrão, nas concentrações de 1,39 a 7,02 µg mL^{-1}. Com os dados obtidos do padrão foi plotada a curva de absorbância versus concentração de berberina e ajustada uma regressão linear (a = 0,0338; b = 0,0972; R^2 = 0,9823), a qual foi utilizada para calcular o teor de alcaloides nas amostras reais. Os resultados foram expressos em mg de berberina por g de extrato liofilizado. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

2.4. ANALISE ESTATÍSTICA

Os teores de compostos fenólicos, de alcaloides e as atividades antioxidantes das infusões preparadas a partir das folhas e frutos de jurubeba submetidos a diferentes processos de secagem, foram analisados por meio de regressão linear. O ajuste das equações foi realizado por meio de um software estatístico Para as regressões lineares ajustadas (y = a.x + b), foi analisada a significância da inclinação da reta ‘a’ por meio da aplicação do teste t.

Ainda, aos dados experimentais dos teores de compostos fenólicos, de alcaloides e atividade antioxidante das infusões das folhas e frutos de jurubeba foram submetidas ao teste de “t” de Student, para realizar as comparações, aos pares, entre a infusão das folhas e frutos frescos com as infusões das folhas e frutos de jurubeba submetidos as diferentes condições do ar de secagem.

Os resultados foram expressos na forma de gráficos de barras, em que para as análises das infusões das folhas, as barras foram usadas para a comparação da infusão das folhas frescas com as infusões das folhas secas nas velocidades do ar de 0,4 e 0,8 m s^{-1} dentro de cada temperatura do ar de secagem. Já para os frutos, as barras foram usadas para a comparação dos infusos do fruto verde fresco e do fruto verde seco (letras maiúsculas), e dos infusos do fruto maduro fresco e do fruto maduro seco (letras minúsculas), dentro de cada temperatura do ar de secagem. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste t de Student ($p<0,01$).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. ANALISE DOS EXTRATOS AQUOSOS DAS FOLHAS DE JURUBEBA

O teor de compostos fenólicos das infusões das folhas de jurubeba, secas com a velocidade do ar de secagem de 0,4 m s^{-1}, reduziu de 39,67 para 29,77 mg g^{-1} com o aumento da temperatura do ar de 40 a 70 °C (Figura 1), ou seja, reduziu 24,9%. Já para as infusões das folhas secas com a velocidade do ar de secagem de 0,8 m s^{-1}, o teor de compostos fenólicos reduziu de 44,78 para 37,48 mg g^{-1} com a elevação da temperatura do ar, o que corresponde a uma redução de 16,3%.

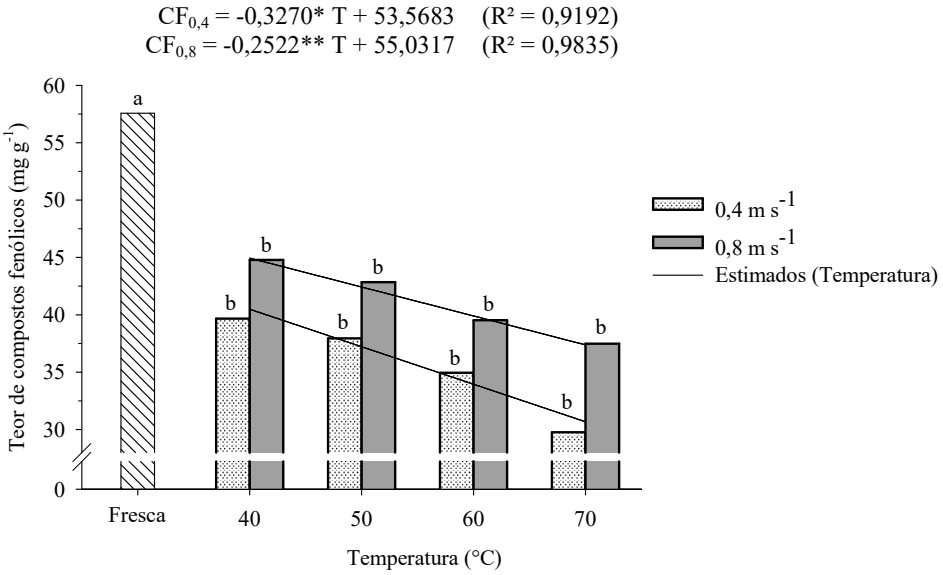


FIGURA 1. Teor de compostos fenólicos das infusões das folhas de jurubeba fresca e secas em diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem. Dourados, UFGD, 2019.

Nota: ** - Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t; * Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

Logo o efeito da temperatura do ar de secagem foi evidenciado nas equações de regressão linear para estimar o teor de compostos fenólicos das infusões das folhas de jurubeba secas nas velocidades do ar de secagem de 0,4 e 0,8 m s^{-1} (Figura 1), nas quais são indicadas a significância da inclinação da reta ao nível de pelo menos 5% de probabilidade, indicando que os teores de compostos fenólicos são estatisticamente influenciados pela temperatura do ar de secagem.

Comportamento semelhante ao observado no presente estudo, Figura 1, foi observado por Niamnuy et al. (2013) ao realizaram a secagem de folhas de *Centella asiatica* (L.) utilizando diferentes métodos de secagem, dentre eles secagem com ar aquecido, secagem combinada de ar aquecido e infravermelho e secagem por vapor superaquecido a baixa pressão, cada um desses métodos em diferentes temperaturas do ar de secagem (50, 60 e 70 °C). Os autores verificaram que a elevação da temperatura do ar de secagem, independente do método utilizado, resultou em maior degradação dos compostos fenólicos.

O fato de o teor de compostos fenólicos das infusões das folhas secas na velocidade do ar de secagem de 0,8 m s^{-1}, para todas as temperaturas, ser maior pode ser atribuído a secagem ser executada com a velocidade do ar de 0,8 m s^{-1} demandar um menor tempo de secagem quando comparado a velocidade do ar de 0,4 m s^{-1} (Tabela 1). Com isso as folhas ficaram um menor tempo expostas ao ar de secagem, fazendo com que fosse menor a degradação térmica e/ou oxidativa dos compostos fenólicos, já que o menor tempo de exposição ao ar de secagem corresponde a um menor tempo exposto a presença de oxigênio e uma menor carga térmica durante o processo.

Niamnuy et al. (2013), verificaram que ao realizar a secagem utilizando vapor superaquecido a baixa pressão nas de folhas de *Centella asiatica* (L.), a mesma apresentou maior teor de compostos fenólicos do que quando utilizado outros métodos de secagem, os autores atribuíram esse resultado devido ao método de secagem utilizado possuir a atmosfera livre de oxigênio, reduzindo assim a oxidação do composto.

Ainda analisando a Figura 1, nota-se que as infusões das folhas de jurubeba, independente das condições do ar em que as folhas foram secas, apresentaram teor de compostos fenólicos médios estatisticamente menores do que o da infusão preparada a partir das folhas frescas, a qual apresentou teor de compostos fenólicos de 57,57 mg g^{-1}.

A análise da atividade antioxidante pode ser expresso em IC_{50}, a qual representa a concentração necessária do antioxidante para reduzir em 50% o radical DPPH, em que, quanto menor o valor de IC_{50} maior será atividade antioxidante do material (NEGRI et al., 2009).

A atividade antioxidante, expressa em IC_{50}, das infusões preparadas a partir das folhas de jurubeba, submetidas ao processo de secagem com a velocidade do ar de 0,4 m s^{-1}, não apresentou um comportamento definido de modo que permitisse o ajuste de uma equação de regressão significativa estatisticamente para representar o fenômeno

(Figura 2), obtendo-se assim um valor médio de IC_{50} de 434,55 µg mL^{-1} para a redução de 50% do DPPH.

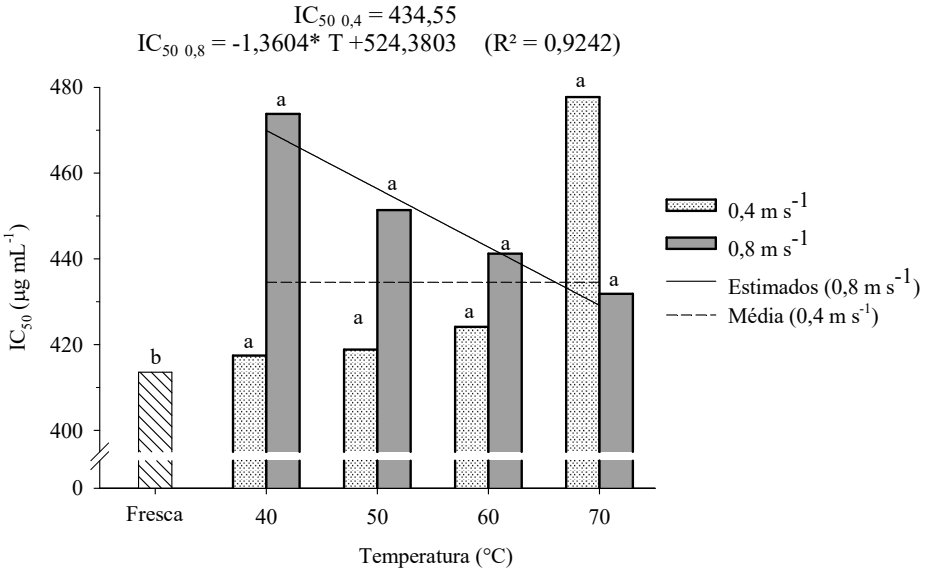


FIGURA 2. Atividade antioxidante das infusões das folhas de jurubeba fresca e secas em diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem. Dourados, UFGD, 2019.

Nota: * - Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

Com relação às folhas secas sob a velocidade do ar de 0,4 m s^{-1}, que foram necessários 417,45 µg mL^{-1} da infusão de folhas de jurubeba secas a 40 °C para a redução de 50% do DPPH e para a infusão preparada com as folhas secas a temperatura do ar de 70 °C foram necessários 477,74 µg mL^{-1} para realizar a mesma reação (Figura 2).

Negri et al. (2009) avaliando a atividade antioxidante de ramos e folhas de espinheira santa (*Maytenus ilicifolia*), secas a diferentes temperaturas do ar (40, 50, 60, 70 e 90 °C), verificaram que o material seco sob a temperatura do ar de 40 °C apresentou maior atividade antioxidante, em que foram necessários 4,02 µg mL^{-1} para redução de 50% do DPPH.

A atividade antioxidante das infusões das folhas de jurubeba secas com a temperatura de 40 °C e com a velocidade do ar de secagem de 0,4 m s^{-1} (Figura 2), corrobora com o comportamento observado para o teor de compostos fenólicos (Figura 1), em que ao se utilizar a temperatura do ar de 40 °C apresentou maior teor de compostos fenólicos, o que era esperado, visto a relação positiva entre maior teor de compostos fenólicos e maior atividade antioxidante.

Já para as infusões das folhas de jurubeba secas utilizando a velocidade do ar de 0,8 m s^{-1}, a atividade antioxidante aumentou com o incremento da temperatura do ar de secagem, sendo necessários 473,80 µg mL^{-1} para reduzir 50% do DPPH da infusão preparada com o material seco a 40 °C, enquanto para a infusão do material seco a 70 °C foi necessário 431,84 µg mL^{-1} (Figura 2).

A atividade antioxidante, da infusão preparada a partir das folhas frescas de jurubeba, é estatisticamente maior do que a das infusões preparadas a partir das folhas submetidas à secagem, sendo que a infusão preparada com as folhas frescas necessitaram de 413,56 µg mL^{-1} para reduzir 50% do DPPH (Figura 2). De maneira geral verifica-se que as folhas secas utilizando a velocidade do ar de 0,4 m s^{-1}, apresentaram melhores resultados para a atividade antioxidante, principalmente quando utilizado as temperaturas do ar de secagem de 40 e 50 °C.

O teor de alcaloides das infusões preparadas a partir das folhas de jurubeba, submetidas ao processo de secagem, reduziu de 27,61 para 26,18 mg g^{-1}, ao aumentar a temperatura do ar de secagem de 40 para 70 °C, na velocidade do ar de 0,4 m s^{-1}, e de 30,20 para 29,92 mg g^{-1} na velocidade do ar de secagem de 0,8 m s^{-1} (Figura 3).

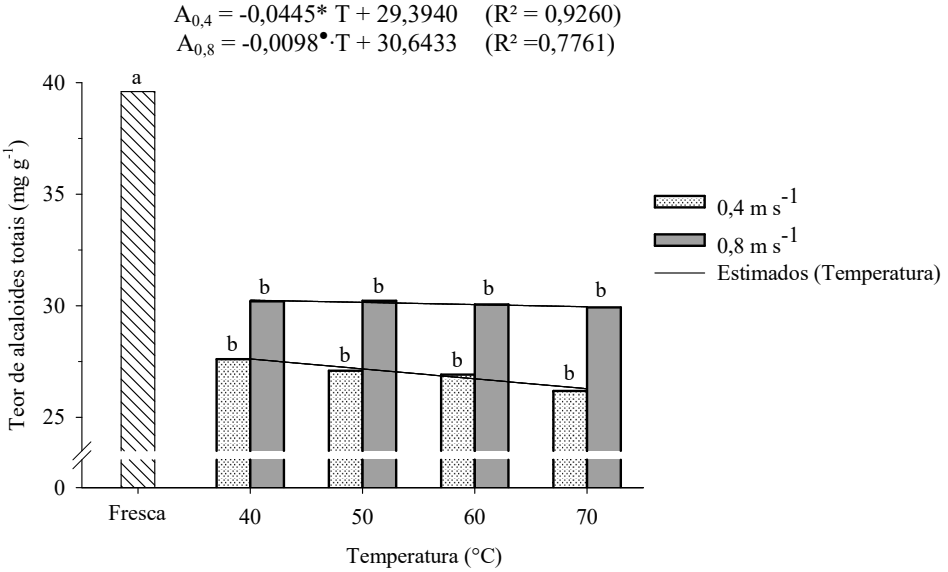


FIGURA 3. Teor de alcaloides totais (expresso em equivalente de sulfato de berberina g^{-1} de extrato) das folhas de jurubeba fresca e secas em diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem. Dourados, UFGD, 2019.

Nota: * - Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t; • - Significativo a 10% de probabilidade pelo teste t.

A infusão preparada com as folhas frescas de jurubeba apresentaram teor de alcaloides totais (39,60 mg g^{-1}), estatisticamente, maiores do que o das infusões

preparadas a partir das folhas secas, independente das condições do ar de secagem (Figura 3).

Por outro lado o teor de alcaloides totais das infusões preparadas a partir das folhas submetidas ao processo de secagem com a velocidade do ar de 0,8 m s^{-1}, foram maiores do que os das infusões preparadas a partir do material seco sob a velocidade do ar de secagem de 0,4 m s^{-1} (Figura 3). Provavelmente, esse comportamento possa ser atribuído à carga térmica a que as folhas de jurubeba foram expostas durante a secagem com a velocidade do ar de 0,4 m s^{-1}, por terem permanecido mais tempo expostas ao ar aquecido para atingir o teor de água desejado (Tabela 1), fazendo com que ocorresse a redução do teor de alcaloides totais devido à degradação térmica desses compostos.

Conforme as equações de regressão para estimar o teor total de alcaloides das infusões de jurubeba (Figura 3), por meio da análise da inclinação da reta, para a velocidade do ar de secagem de 0,8 m s^{-1}, as infusões preparadas a partir do material seco nas diferentes temperaturas do ar de secagem não possuem diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade, para o teor total de alcaloides em função do incremento da temperatura do ar. Já para a velocidade do ar de secagem de 0,4 m s^{-1}, o teor de alcaloides totais das infusões é influenciado, estatisticamente, ao nível de 5% de probabilidade, pela temperatura do ar de secagem.

Analisando as Figuras 1, 2 e 3, selecionando a condição do ar de secagem que proporcione os maiores teores de compostos fenólicos e atividade antioxidante, e baixos teores de alcaloides totais, pode-se inferir que a secagem com a temperatura de 40 °C e velocidade do ar de 0,4 m s^{-1} proporciona os melhores resultados para as variáveis analisadas supracitadas. Extrapolando ainda essa linha de raciocínio, pode-se inferir também, que a secagem com a temperatura de 50 °C na velocidade do ar de 0,4 m s^{-1}, também proporciona bons resultados com relação às variáveis analisadas, com a vantagem de uma redução no tempo de secagem do material vegetal de 74,3% (de 12,33h para 3,17h).

3.2. ANALISE DOS EXTRATOS AQUOSOS DOS FRUTOS DE JURUBEBA.

A infusão dos frutos frescos verdes de jurubeba, possuia, significativamente, maior teor de compostos fenólicos (35,53 mg g^{-1}) do que das infusões preparadas com os frutos verdes submetidos à secagem (Figura 4), ou seja, à secagem provocou uma redução acentuada no teor de compostos fenólicos dos frutos verdes de jurubeba.

Analisando as infusões dos frutos verdes submetidos ao processo de secagem, nota-se que o aumento da temperatura do ar de secagem de 40 para 70 °C, promoveu o aumento do teor de compostos fenólicos de 16,53 para 25,50 mg g^{-1} (Figura 4).

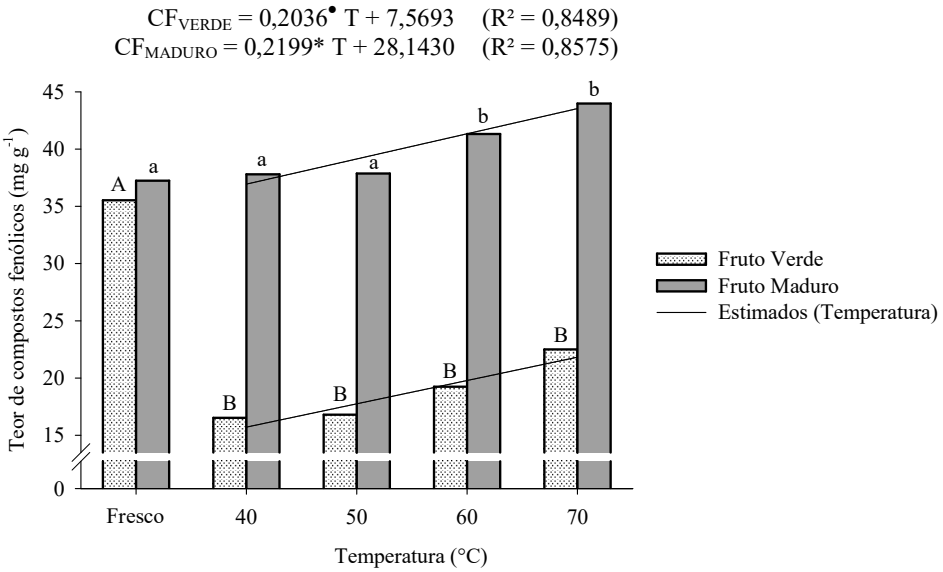


FIGURA 4. Teor de compostos fenólicos das infusões dos frutos de jurubeba frescos, e dos frutos verdes e maduros secos em diferentes temperaturas do ar de secagem. Dourados, UFGD, 2019.

Nota: * Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t; • Significativo a 10% de probabilidade pelo teste t.

O processo de secagem não alterou, significativamente, o teor de compostos fenólicos das infusões dos frutos frescos de jurubeba, no estágio maduro (37,23 mg g^{-1}), quando comparado com as infusões dos frutos maduros secos nas temperaturas do ar de secagem de 40 e 50 °C, sob as quais apresentaram o teor de compostos fenólicos de 37,79 e 37,87 mg g^{-1}, respectivamente (Figura 4).

O incremento da temperatura do ar de secagem provocou o aumento do teor de compostos fenólicos das infusões dos frutos maduros, o qual apresentou um teor de compostos fenólicos de 43,97 mg g^{-1} para as infusões preparadas com frutos maduros secos com a temperatura do ar de 70 °C (Figura 4). Esse teor de compostos fenólicos é quase o dobro do obtido para a infusão do fruto verde na mesma temperatura do ar de secagem (22,50 mg g^{-1}).

Wiriya et al. (2009) afirmam que a redução do teor de compostos fenólicos totais pode ser proveniente de reações de degradação térmica ou oxidação. Conforme explicam Souza et al. (2018), o aumento da temperatura pode resultar em menores teores de compostos fenólicos devido à degradação térmica, já o maior tempo de

secagem também pode resultar na perda de compostos fenólicos devido à oxidação induzida pela presença de oxigênio.

Logo o aumento do teor de compostos fenólicos das infusões dos frutos de jurubeba em função do aumento da temperatura do ar de secagem (Figura 4), pode ser atribuído ao fato do incremento da temperatura do ar reduzir, consideravelmente, o tempo de secagem (Tabela 2). Isso faz com que os compostos fenólicos dos frutos não passem por um processo de oxidação intenso devido ao menor tempo de exposição ao oxigênio durante a secagem, quando comparado aos frutos secos nas menores temperaturas do ar. E ainda é possível inferir para o presente estudo (Figura 4), que a redução do teor de compostos fenólicos proveniente da degradação térmica é muito menos intensa do que a redução proveniente do processo de oxidação devido ao longo tempo de secagem, fazendo com que a elevação da temperatura resulte em aumento do teor de compostos fenólicos.

As infusões dos frutos maduros de jurubeba, submetidos a secagem nas temperaturas do ar de 60 e 70 °C, possuiam maior teor de compostos fenólicos do que a infusão do frutos frescos maduros (Figura 4). Comportamento análogo ao do presente trabalho foi observado por Pin et al. (2009) ao submeter folhas de *Piper betle* L. a secagem nas temperaturas do ar de 40, 50, 60, 70 e 80 °C, e verificaram, que as concentrações de seus compostos majoritários, hidroxicavicol e eugenol nas folhas secas foram maiores do que nas folhas frescas.

Conforme explicou Pin et al. (2009) o aumento da concentração dos compostos pode ser atribuído ao desencadeamento de reações químicas nas folhas de *Piper betle* L., devido a exposição térmica durante o processo de secagem, levando a formação de hidroxicavicol e eugenol adicionais. Este mesmo efeito pode ser atribuído aos frutos maduros de jurubeba, secos a 60 e 70 °C, em que essas temperaturas do ar de secagem, provavelmente, desencadearam reações químicas ocasionando o aumento do teor de compostos fenólicos no produto.

As infusões preparadas com os frutos maduros de jurubeba submetidos ao processo de secagem apresentam maior teor de compostos fenólicos do que as infusões preparadas com frutos verdes submetidos ao processo de secagem (Figura 4), evidenciando que a degradação dos compostos fenólicos é mais susceptível nos frutos verdes quando os mesmos são submetidos a secagem.

A atividade antioxidante, expressa em IC_{50}, das infusões dos frutos verdes e maduros de jurubeba, submetidos ao processo de secagem, aumentaram com o incremento da temperatura do ar de secagem (Figura 5).

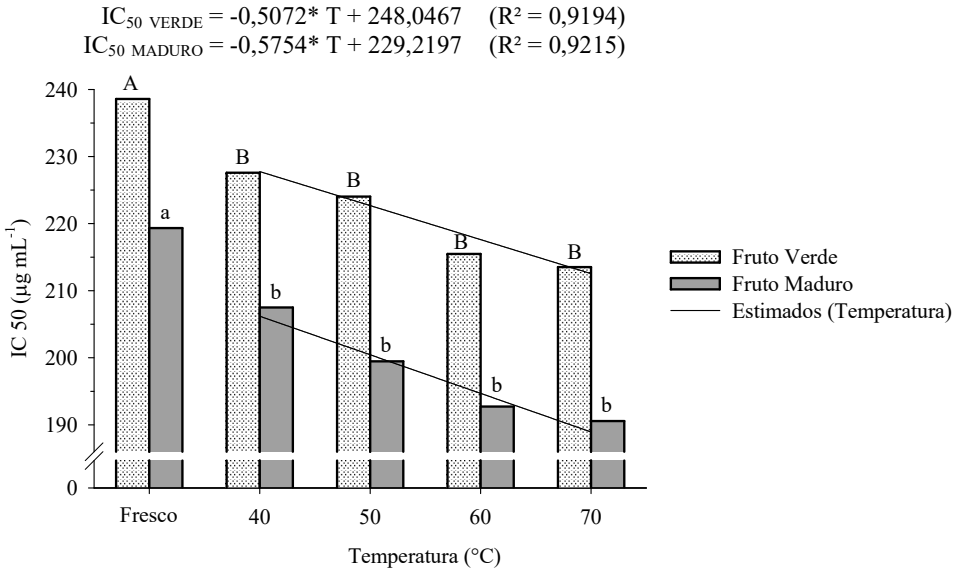


FIGURA 5. Atividade antioxidante da infusão dos frutos de jurubeba frescos, e das infusões dos frutos verdes e maduros secos em diferentes temperaturas do ar de secagem. Dourados, UFGD, 2019.

Nota: * - Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

Para as infusões dos frutos verdes de jurubeba, secos a temperatura do ar de 40 °C, foram necessários 227,58 µg mL^{-1} para redução de 50% do DPPH, já para as infusões dos frutos secos a temperatura do ar de 70 °C foram necessários 213,52 µg mL^{-1} para mesma reação (Figura 5). Enquanto para as infusões preparadas a partir dos frutos maduros, secos na temperatura do ar de 40 °C, foram necessários 207,50 µg mL^{-1} para redução de 50% do DPPH, e para a mesma reação foram necessários 190,57 µg mL^{-1} das infusões dos frutos maduros secos com a temperatura do ar de 70 °C (Figura 5).

O aumento da atividade antioxidante das infusões dos frutos de jurubeba em função dos incrementos de temperatura do ar de secagem (Figura 5) está diretamente correlacionado com o aumento dos compostos fenólicos (Figura 4) para as mesmas condições de secagem.

As infusões preparadas a partir dos frutos secos, tanto verde quanto maduros, apresentam maior atividade antioxidante do que as infusões preparadas a partir de seus respectivos frutos frescos (Figura 5), nota-se ainda que as infusões dos

frutos maduros, comparada a dos frutos verdes, submetidos à mesma condição de secagem, sempre apresentam maior atividade antioxidante.

O teor de alcaloides totais, tanto para as infusões dos frutos verdes quanto dos maduros, reduz com o incremento da temperatura do ar de secagem (Figura 6). O teor de alcaloides reduz de 45,48 para 44,98 mg g^{-1} para as infusões preparadas a partir dos frutos verdes secos com a temperatura do ar de 40 e 70 °C, respectivamente (Figura 6), enquanto para as infusões dos frutos maduros, nas mesmas condições de secagem, reduz de 24,80 para 24,18 mg g^{-1}.

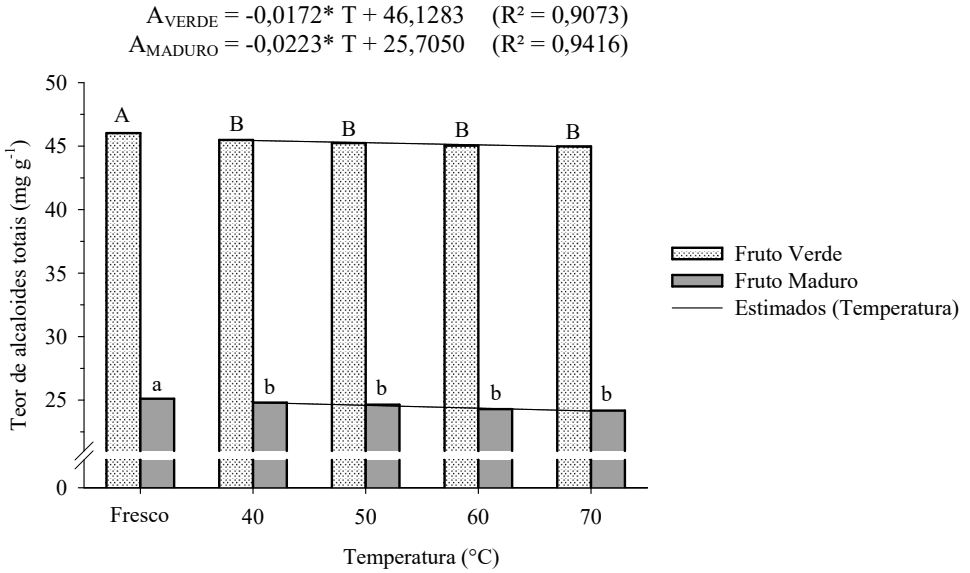


FIGURA 6. Teor de alcaloides totais (expresso em equivalente de sulfato de berberina g^{-1} de extrato) das infusões dos frutos frescos de jurubeba, e das infusões dos frutos verdes e maduros secos em diferentes temperaturas do ar de secagem. Dourados, UFGD, 2019.

Nota: * - Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

As infusões preparadas com os frutos frescos possuem maior teor de alcaloides, estatisticamente, do que quando preparadas com esses mesmos frutos submetidos ao processo de secagem (Figura 6). Ainda, as infusões dos frutos de jurubeba verdes, independentemente de serem submetidos ao processo de secagem ou não, possuem maior teor de alcaloides totais (Figura 6).

As infusões preparadas a partir dos frutos frescos, possuem, estatisticamente, maior teor de alcaloides totais, 46,02 e 25,11 mg g^{-1} para os frutos verdes e maduros, respectivamente, quando comparadas as infusões preparadas com esses frutos submetidos ao processo de secagem (Figura 6). Apesar do teor de alcaloides

totais ser maior, estatisticamente, para os frutos frescos, numericamente, não houve uma redução considerável para o teor de alcaloides totais das infusões preparadas a partir dos seus respectivos frutos secos com a temperatura do ar de 70 °C, os quais possuem teor de alcaloides totais igual a 44,98 e 24,17 mg g^{-1}, para os frutos verdes e maduros, respectivamente.

A redução do teor de alcaloides em frutos e folhas de jurubeba se mostra importante em casos em que é realizado o consumo constante da espécie, uma vez que sintomas de toxicidade incluem desordens gastrointestinais seguidos por um reflexo de Bezold-Jarisch, que caracteriza a hipopnéia, hipotensão e bradicardia (ANWAR et al., 2018).

Analisando as Figuras 4, 5 e 6, pode-se inferir que nas condições estudadas no presente trabalho, para obter um maior teor de compostos fenólicos e atividade antioxidante e menor teor de alcaloides totais, é recomendando o preparo de infusões a partir de frutos secos com a temperatura do ar de 70 °C. E ainda analisando as mesmas figuras, nota-se que a utilização de frutos maduros proporciona maior teor de compostos fenólicos e de atividade antioxidante, além de menor teor de alcaloides totais, independente da temperatura do ar de secagem.

4. CONCLUSÕES

O aumento da temperatura do ar de secagem reduziu o teor de compostos fenólicos e alcaloides totais das infusões das folhas, enquanto que o aumento da velocidade do ar proporcionou maior teor.

A atividade antioxidante das infusões das folhas não foi influenciada pelo incremento da temperatura do ar na velocidade de 0,4 m s^{-1}, mas sob a velocidade do ar de 0,8 m s^{-1} houve redução da atividade antioxidante com o aumento da temperatura.

Com o incremento da temperatura do ar de secagem detectou-se o aumento do teor de compostos fenólicos e da atividade antioxidante e redução do teor de alcaloides totais das infusões dos frutos, com exceção do teor de alcaloides totais, as infusões dos frutos maduros possuem maior valor para os parâmetros quantificados.

De modo geral, a secagem das folhas de jurubeba pode ser realizada com a temperatura de 40 ou 50 °C e velocidade do ar de secagem de 0,4 m s^{-1}. Já para os frutos, a secagem pode ser realizada com a temperatura do ar de 70 °C, devido ao menor

teor de alcaloides totais e maior teor de compostos fenólicos e da atividade antioxidante, com os melhores resultados desses parâmetros para o fruto maduro.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, J. J. L.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. E. C. de; BRANQUINHO, N. A. de A. Cinética de secagem das folhas de *Hyptis suaveolens*. **Revista Brasileira Plantas Medicinais**, v. 19, n. 2, p. 168-176, 2017.

ANWAR, M.; TURNER, M.; FARRELL, N.; ZOMLEFER, W. B.; MCDOUGAL, O. M.; MORGAN, B. W. Hikers poisoned: Veratrum steroidal alkaloid toxicity following ingestion of foraged *Veratrum parviflorum*. **Clinical Toxicology**, v. 56, n. 9, p. 841-845, 2018.

ASABE - American Society of Agricultural and Biological Engineers. Moisture Measurement – Forages: Standard S358.2 DEC1988, R2008. In: **American Society of Agricultural and Biological Engineers** (ed.). Standards, Engineering Practices, and Data. St. Joseph: ASABE, 2010. p.684-685.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. **Official methods of analysis.** 16 ed. Maryland, 1997. 1141p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA. **Monografia da espécie *Solanum paniculatum*. (Jurubeba)**. Brasília, 2015. 46p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA. **Resolução da Diretoria Colegiada - RDC N° 26, de 13 de maio de 2014.** 2014. 34p.

CERQUEIRA, F. M.; MEDEIROS, M. H. G. de; AUGUSTO, O. Antioxidantes dietéticos: controvérsias e perspectivas. **Química Nova**, v. 30, n. 2, p. 441-449, 2007.

DIAS, R. A. de L.; SOUZA, P. S.; ALSINA, O. L. S. de. Secagem e Extração de Taninos Totais da Hortelã (*Mentha x vilosa* Hudson). **Revista Agrarian**, v. 4, n. 12, p. 123-133, 2011.

DJERIDANE, A.; YOUSFI, M.; NADJEMI, B.; BOUTASSOUNA, D.; STOCKER, P.; VIDAL, N. Antioxidant activity of some Algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds. **Food Chemistry**, v. 97, n. 4, p. 654-660, 2006.

GARLET, T. M. B.; MATTOS, J. P. O. de; MARTINS, M. C. **Plantas medicinais de emprego popular em Palmeira das Missões, RS**. 2. ed. Santa Maria : Ed. PRE, 2017. 44p.

GASPARIN, P. P.; ALVES, N. C. C.; CHRIST, D.; COELHO, S. R. M. Qualidade de folhas e rendimento de óleo essencial em hortelã pimenta (*Mentha x Piperita* L.) submetida ao processo de secagem em secador de leito fxo. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 16, n. 2, supl. I, p. 337-344, 2014.

GONELI, A. L. D.; MARTINS, E. A. S.; JORDAN, R. A.; GEISENHOFF, L. O.; GARCIA, R. T. Experimental dryer design for agricultural products. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 5, p. 938-950, 2016.

GRANDI, S. M. **Tratado das plantas medicinais**: mineiras, nativas e cultivadas. 1 ed. Dados eletrônicos – Belo Horizonte: Adaequatio Estúdio, 2014. 1204p.

GREGORIS, E.; LIMA, G. P. P.; FABRIS, S.; BERTELLE, M.; SICARI, M.; STEVANATO, R. Antioxidant properties of brazilian tropical fruits by correlation between different assays. **BioMed Research International**, v. 2013, p. 1-8, 2013.

KAZIYAMA, V. M.; FERNANDES, M. J. B.; SIMONI, I. C. Atividade antiviral de extratos de plantas medicinais disponíveis comercialmente frente aos herpesvírus suíno e bovino. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 14, n. 3, p. 522-528, 2012.

KUMARAN, A.; KARUNAKARAN, R. J. Antioxidant and free radical scavenging activity of an aqueous extract of *Coleus aromaticus*. **Food Chemistry**, v. 97, n. 1, p. 109-114, 2006.

LEMOS, D. R. H.; MELO, E. de C.; ROCHA, R. P.; BARBOSA, L. C. de A.; PINHEIRO, A. L. Influence of drying air temperature on the chemical composition of the essential oil of melaleuca. **Engenharia na Agricultura**, v. 20, n. 1, p. 5-11, 2012.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. **Plantas medicinais no Brasil:** Nativas e exóticas. 2 ed. Nova Odessa-SP: Instituto Plantarum de Estudos da Flora Ltda, 2008. 544p.

MARTINAZZO, A. P.; MELO, E. de C.; DEMUNER, A. J.; BERBERT, P. A. Avaliação do óleo essencial folhas de *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf após o processo de secagem. **Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas**, v. 12, n. 5, p. 523 - 536, 2013.

MARTINS, E. A. S.; GONELI, A. L. D.; GONCALVES, A. A.; HARTMANN FILHO, C. P.; SIQUEIRA, V. C.; OBA, G. C. Drying kinetics of blackberry leaves. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 8, p. 570-576, 2018.

MESIA-VELA, S.; SANTOS, M. T.; SOUCCAR, C.; LIMA-LANDMAN, M. T. R.; LAPA, A. J. *Solanum paniculatum* L. (Jurubeba): Potent inhibitor of gastric acid secretion in mice. **Phytomedicine**, v. 9, n. 6, p. 508-514, 2002.

NEGRI, M. L. S.; POSSAMAI, J. C.; NAKASHIMA, T. Atividade antioxidante das folhas de espinheira-santa - *Maytenus ilicifolia* Mart. ex Reiss., secas em diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 19, n. 2B, p. 553-556, 2009.

NIAMNUY, C.; CHAROENCHAITRAKOOL, M.; MAYACHIEW, P.; DEVAHASTIN, S. Bioactive Compounds and Bioactivities of *Centella asiatica* (L.) Urban Prepared by Different Drying Methods and Conditions. **Drying Technology**, v. 31, n. 16, p. 2007-2015, 2013.

OLIVEIRA, M. A. C.; ALBUQUERQUE, M. M.; XAVIER, H. S.; STRATTMANN, R. R.; GRANGEIRO JÚNIOR, S.; QUEIROZ, A. T. Desenvolvimento e validação de metodologia para quantificação de alcalóides totais como berberina em fitoterápico

contendo *Berberis vulgaris* L. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 16, n. 3, p. 357-364, 2006.

OLIVEIRA, M. T. R. de; BERBERT, P. A.; MATOS, C. R. R.; MATHIAS, L.; MOREIRA, R. O. Efeito da temperatura do ar de secagem sobre o teor e a composição química do óleo essencial de *Pectis brevipedunculata*. **Química Nova**, v. 34, n. 7, p. 1200-1204, 2011.

PIN, K. Y.; CHUAH, T. G.; ABDULL RASHIH, A.; LAW, C. L.; RASADAH, M. A.; CHOONG, T. S. Y. Drying of Betel leaves (*Piper betle* L.): Quality and drying kinetics**.** **Drying Technology**, v. 27 n. 1, p. 149-155, 2009.

PRATES, M. F. O.; REIS, R. C. dos; DEVILLA, I. A.; FARIA, R. Q.; LIMA JUNIOR, A. F. Cinética de secagem de folhas de *Solanum lycocarpum* A. St.-Hil. (fruta-de-lobo). **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 14, n. 3, p. 514-521, 2012.

RADÜNZ, L. L.; AMARAL, A. S. do; MOSSI, A. J.; MELO, E. DE C.; ROCHA, R. P. Avaliação da cinética de secagem de carqueja. **Engenharia na Agricultura**, v. 19, n. 1, p. 19-27, 2011.

RADÜNZ, L. L.; MELO, E. de C.; ROCHA, R. P. DA; BERBERT, P. A.; GRACIA, L. M. N. Study of essential oil from guaco leaves submitted to different drying air temperature. **Engenharia na Agricultura**, v. 18, n. 3, p. 241-247, 2010.

RIBEIRO, S. R., FORTES, C. C., OLIVEIRA, S. C. C., CASTRO, C. F. S. Avaliação da atividade antioxidante de *Solanum paniculatum* (solanaceae). **Arquivo de Ciências da Saúde da Unipar**, v. 11, n. 3, p. 179-183, 2007.

ROCHA, R. P. da; MELO, E. DE C.; BARBOSA, L. C. de A.; CORBÍN, J. B.; BERBET, P. A. Influência do processo de secagem sobre os principais componentes químicos do óleo essencial de tomilho. **Revista Ceres**, v. 59, n. 5, p. 731-737, 2012.

ROCHA, R. P.; MELO, E. de C.; BARBOSA, L. C. DE A.; RADÜNZ, L. L. Effect of drying air temperature on the quality of essential oil from *Mikania glomerata.* **Engenharia na Agricultura**, v. 22, n. 3, p. 239-245, 2014.

RODRIGUES, V. E. G.; CARVALHO, D. A. de. Levantamento etnobotânico de plantas medicinais no domínio do cerrado na região do alto Rio Grande - Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 25, n. 1, p. 102-123, 2001.

SOUSA, A. D.; RIBEIRO, P. R. V.; CANUTO, K. M.; ZOCOLO, G. J.; PEREIRA, R. de C. A.; FERNANDES, F. A. N.; BRITO, E. S. de. Drying kinetics and effect of air-drying temperature on chemical composition of *Phyllanthus amarus* and *Phyllanthus niruri*. **Drying Technology**, v. 36, n. 5, p. 609-616, 2018.

TERÇO, J. W. dos S.; LIMA, R. A. Identificação das classes de metabólitos secundários no extrato etanólico dos frutos e folhas de *Solanum paniculatum* L. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, v. 3, n. 2, p. 92-99, 2016.

WIRIYA, P.; PAIBOON, T.; SOMCHART, S. Effect of drying air temperature and chemical pretreatments on quality of dried chilli. **International Food Research Journal,** v. 16, p. 441-454, 2009.

CAPÍTULO IV

IDENTIFICAÇÃO DAS SUBSTÂNCIAS PRESENTES NO EXTRATO ETANÓLICO DAS FOLHAS E FRUTOS DE JURUBEBA SUBMETIDOS À SECAGEM

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país que possui em sua flora diversas espécies de plantas que apresentam propriedades medicinais, dentre essas plantas há a jurubeba (*Solanum paniculatum* L.), a qual é bastante popular pelo seu uso na medicina tradicional, principalmente no tratamento de problemas hepáticos e digestivos, além de ser utilizada como colagoga, emenagoga, cicatrizante, febrífuga, anti-inflamatória, antipirética, tônica, descongestionante, diurética e na inapetência (GARLET et al., 2017; GRANDI, 2014; LORENZI e MATOS, 2008; MESIA-VELA et al., 2002).

O uso da jurubeba na medicina tradicional é realizado há varias décadas, constando na Farmacopeia Brasileira (BRASIL, 1959). Devido à sua importância como planta medicinal a mesma esta listada na relação das plantas medicinais de interesse ao SUS - RENISUS (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2019). Ela está presente na formulação do preparado fitoterápico Ierobina®, o qual é indicado para o tratamento da dispepsia (TAGLIATI et al., 2008; BOTION et al., 2005; BRAGA et al., 2003).

As propriedades medicinais da jurubeba são provenientes de metabólitos secundários encontrados em suas folhas, frutos e raízes. Dentre esses órgãos, destaca-se o uso das folhas e dos frutos para aplicação na medicina tradicional, além dos frutos verdes para fins alimentícios. Apesar disso são pouco conhecidas as propriedades benéficas do fruto maduro para utilização na fitoterapia.

Para o processamento de plantas medicinais para fins fitoterápicos faz-se necessário proceder a secagem, visto que as partes aéreas de plantas medicinais apresentam elevado teor de água. Sabe-se que o teor de água influencia as propriedades físicas e químicas de plantas medicinais e aromáticas. Logo, a remoção do excesso de água de plantas medicinais, por meio da secagem, é uma das principais operações pós-colheita. Basicamente, a secagem é conceituada como um processo com a finalidade de reduzir o teor de água da planta, de modo a proporcionar condições desfavoráveis à

atividade enzimática e microbiana, visando assim preservar o produto e prolongar sua vida de prateleira (ROCHA et al., 2011).

Vários estudos já foram realizados visando a identificação de metabólitos secundários em extratos provenientes de folhas, frutos e até de raizes de jurubeba, como, por exemplo, os de Terço e Lima (2016), Silva et al. (2013), Kaziyama et al. (2012), Lôbo et al. (2010) e Gomes et al. (2011). No entanto, desconhece-se um estudo analisando a presença ou ausência de determinados metabólitos secundários em folhas e frutos de jurubeba submetidos a diferentes condições de secagem.

O conhecimento do efeito da secagem na composição química de plantas medicinais é importante em vários aspectos, dentre eles para a inferência da qualidade do material vegetal desidratado para uso como medicinal. Quando o processo de secagem é realizado de maneira inadequada pode influenciar a quantidade de determinadas substâncias que conferem a aplicação medicinal daquele produto, bem como, até mesmo interferir na presença ou ausência das substâncias no material vegetal desidratado. Como exemplo, no gênero *Solanum* os principais metabólitos secundários são os alcaloides esteroidais, os quais são de amplo interesse tanto na área de saúde humana como de ecologia (GOMES e LIMA, 2014), assim, conhecer o efeito da secagem sobre esses compostos torna-se de fundamental importância visando à qualidade do material para o uso fitoterápico.

Diante do exposto, objetivou-se com o presente trabalho, identificar as substâncias presentes no extrato etanólico preparado a partir das folhas e frutos (verdes e maduros) de jurubeba submetidos a diferentes condições do ar de secagem.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. OBTENÇÃO E SECAGEM DO MATERIAL VEGETAL

As folhas e frutos de jurubeba utilizados para o desenvolvimento do presente estudo foram coletados aleatoriamente de 150 plantas de jurubeba, as quais tiveram as mudas transplantadas no mês de setembro de 2016, em uma área experimental, de aproximadamente 500 m², situada nas dependências da Faculdade de Ciências Agrárias, da Universidade Federal da Grande Dourados. Durante o desenvolvimento das plantas, foram realizados todos os tratos culturais necessários para

o desenvolvimento da cultura, visando obter um material vegetal com características homogêneas em toda a área experimental.

A coleta das folhas e frutos de jurubeba foi realizada sempre no período da manhã, evitando-se coletar após precipitações ou com resquícios de orvalho na superfície. Coletaram-se folhas e frutos sem injurias ou com incidência de doenças, com a finalidade de garantir a homogeneidade das características físicas e químicas do produto. Após a coleta, o material vegetal, foi encaminhado para o Laboratório de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas, onde foi imediatamente realizada determinação de teor de água e em seguida a secagem, utilizando um secador experimental de leito fixo, conforme descrito por Goneli et al. (2016).

As folhas de jurubeba foram coletadas entre os meses de junho e julho de 2017. Logo após a coleta foi determinado o teor de água inicial das folhas de jurubeba por meio do método gravimétrico, em estufa a 103 ± 1 ºC, durante 24 h em triplicata (ASABE, 2010), as quais apresentaram teor de água inicial de aproximadamente 2,76 decimal b.s. Em seguida procedeu-se a secagem das folhas de jurubeba para diferentes condições do ar de secagem (Tabela 1), até as mesmas atingirem o teor de água final de aproximadamente 0,11 decimal b.s..

TABELA 1. Tempo (horas) necessário para as folhas de jurubeba atingirem o teor de água de aproximadamente 0,11 decimal b.s. nas diferentes condições do ar de secagem

Velocidade ($m\ s^{-1}$)	Temperatura (°C)			
	40	50	60	70
0,40	12,33	3,17	2,00	0,75
0,80	10,33	2,67	1,58	0,67

Os frutos de jurubeba foram coletados em dois estágios de maturação, sendo eles o verde e o maduro. Os frutos verdes foram coletados e secos entre os meses de agosto e setembro de 2017 e os frutos maduros entre os meses de novembro e dezembro de 2017.

Logo após a coleta foi determinado o teor de água inicial dos frutos de jurubeba por meio do método gravimétrico, em estufa a 105 ºC, durante 12 h ou até massa constante (AOAC, 1997). Os frutos frescos, no estágio verde, apresentaram teor de água inicial de aproximadamente 2,91 e 1,60 decimal b.s, nos estágios de maturação verde e maduro, respectivamente. Em seguida procedeu-se à secagem dos frutos em

diferentes temperaturas e com a velocidade do ar de secagem de 1,5 m s^{-1} (Tabela 2), até atingirem o teor de água final de aproximadamente 0,11 decimal b.s..

TABELA 2. Tempo (horas) necessário para os frutos de jurubeba atingir o teor de água de aproximadamente 0,11 decimal b.s. nas diferentes condições do ar de secagem

Fruto	Temperatura (°C)			
	40	50	60	70
Verde	146,00	64,50	26,00	11,00
Maduro	213,00	98,50	25,50	12,50

2.2. PREPARO DO EXTRATO ETANÓLICO BRUTO

Os extratos etanólicos preparados a partir das folhas e frutos (verdes e maduros) de jurubeba, secos nas diferentes condições do ar de secagem, conforme descrito no item 2.1, foram preparados adicionando-se 3 g de material vegetal seco, proveniente de cada amostra, em 30 mL de etanol absoluto, e deixando-se em repouso/extração por sete dias, na ausência de luz.

Após o período de repouso/extração a solução (etanol + material vegetal seco) foi filtrada em algodão e deixada em recipiente aberto para evaporação do etanol, em temperatura ambiente. A pós a evaporação do etanol, de cada amostra, foi coletado o material extraído em etanol e armazenado em recipientes do tipo eppendorf, e encaminhados para análise.

2.3. IDENTIFICAÇÃO DOS COMPOSTOS POR UHPLC-MSMS

As análises por meio de Cromatografia Líquida de Ultra Eficiência acoplada a Espectrômetro de Massas (UHPLC-MSMS) foram realizadas no Complexo de Centrais de Apoio à Pesquisa, DQI/UEM, em um UHPLC-MSMS, marca Shimadzu, Nexera X2 acoplado a espectrômetro de massas de alta resolução com analisador quadrupolo-Tempo de voo (QTOF), modelo Impact II Bruker Daltonics Corporation, EUA. A tensão capilar foi operada em modo de ionização positiva, ajustada em 4500 V e com um potencial de compensação da placa terminal de - 500 V. Os parâmetros do gás foram ajustados para 8 L min^{-1} a 200 °C com uma pressão de gás de nebulização de 400 kPa. Utilizou-se fonte de ionização por eletrospray (ESI), no modo positivo.

Os dados foram coletados a partir de *m/z* 50 - 1300 com uma taxa de aquisição de 5 espectros por segundo, e os íons de interesse foram selecionados pela fragmentação automática da MS/MS. O software de processamento dos dados foi Data analysis 4.3, Bruker. A separação cromatográfica foi realizada utilizando uma coluna C18 (75 x 2,0 mm i.d.; Shim-pack XR-ODS III a 1,6 M). A mistura em gradiente de solventes A (H_2O) e B (acetonitrila com 0,1% de ácido fórmico; v v^{-1}) foi como segue: 5% B 0-1 min, 30% B 1-3 min, 95% B 3-12 min, mantida a 95% de B12-15 min e 5% de B15-17 min a 40 °C.

Usou-se taxa de fluxo de 0,2 mL min^{-1} e o volume de injeção da amostra foi de 3 μL. A análise dos dados gerados e posterior caracterização de substâncias conhecidas presentes nas frações foram baseadas no perfil de fragmentação de cada classe de metabólitos. Outra forma de identificação de metabólitos secundários conhecidos é a partir do cálculo do erro, a partir do valor de massa exata. O erro de massa pode ser calculado pela Equação 1.

$$\text{Erro (ppm)} = \frac{(\text{Massa exata teórica}) - (\text{Massa exata observada})}{(\text{Massa exata teórica})} \cdot 1\,000\,000 \qquad (1)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. IDENTIFICAÇÃO DAS SUBSTÂNCIAS DOS EXTRATOS ETANÓLICOS DAS FOLHAS E FRUTOS DE JURUBEBA

Pela análise em UHPLC-MS/MS, em modo positivo, identificarm-se 15 substâncias nos extratos etanólicos de folhas e frutos (verdes e maduros) de jurubeba. A massa exata e tempos de retenção de referência específicas demonstraram a presença de 5 flavonoides (Isoramnetina, Catequina, Epigalocatequina, taxifolina e vitexina), 1 fitoesterol (β- sistosterol), 2 ácidos fenólicos (Ácido clorogênico e Ácido 3,5-dicafeoilquínico) 1 aminoácido (L-citrulina) e 6 alcaloides (Solanthrene, Solaparnaina, Solasodina, 5α-Tomatidan-3-ona, Solanidina, e Soladunalinidina) (Tabela 3).

Detectou-se a variabilidade na composição química, observadas nos cromatogramas em modo positivo, sendo os íons identificados com auxílio dos espectros de fragmentação (MS/MS). As substâncias foram identificadas em folhas e frutos de jurubeba frescos, e posteriormente foi avaliada a influência das condições do ar de secagem na manutenção da presença ou ausência dessas substâncias.

TABELA 3. Identificação por UHPLC- MS/MS das substâncias presentes nos extratos etanólicos preparados com folhas e frutos frescos de jurubeba

Pico	Substância	Retenção (min)	UV (nm)	Fórmula Molecular	(m/z)	Parte da planta
1	Catequina	0,59	280	$C_{15}H_{14}O_6$	290,247	FL, FM
2	Epigalocatequina	0,75	275, 280	$C_{22}H_{18}O_{11}$	458,187	FM
3	Ácido 3,5-dicafeoilquínico	1,74	296-326	$C_{25}H_{24}O_{12}$	516,404	FL, FM
4	Ácido clorogênico	2,16	315,335	$C_{16}H_{18}O_9$	354,300	FL
5	Isoramnetina	4,15	250, 268, 342	$C_{16}H_{12}O_7$	316,284	FL, FM
6	Taxifolina	4,22	288	$C_{15}H_{12}O_7$	304,298	FV, FM
7	L-citrulina	4,44	195-210	$C_6H_{13}N_3O_3$	309,203	FV, FM
8	Solanthrene	4,70	254-366	$C_{27}H_{41}N$	379,244	FL, FV
9	Solanidina	4,77	280-340	$C_{27}H_{43}NO$	398,364	FL, FV
10	Soladunalinidina	5,18	254-366	$C_{27}H_{46}N_2O$	415,211	FL, FV
11	β-Sitosterol	5,21	257	$C_{29}H_{50}O$	415,212	FL, FV
12	Solaparnaina	5,28	254-280	$C_{27}H_{43}$	429,299	FL, FV
13	Vitexina	6,44	268	$C_{21}H_{20}O_{10}$	432,27	FL, FV, FM
14	Solasodina	8,40	254-280	$C_{27}H_{43}NO_2$	413,278	FL, FV
15	5α-Tomatidan-3-ona	8,47	254-366	$C_{27}H_{43}NO_2$	413,282	FL, FV, FM

Nota: FL - folha; FV - fruto verde; FM - fruto maduro.

A substância L-citrulina é identificada no espectro de massa da Figura 1A, com os íons em *m/z* 159,1016 e 163,0134, os quais correspondem à perda neutra de amônia (NH_3) a partir dos íons precursores protonados em *m/z* 175,2345. Estas perdas destacam a facilidade com que o aminoácido do grupo funcional se dissocia destes íons intactos em fase gasosa. O fragmento em m/z de 70,0112 indica a perda do radical amino (NH_2) (JONES et al., 2014; NG et al., 2014).

A fragmentação do íon precursor de *m/z* 353,2997 (Figura 1B) causou a formação do pico base em *m/z* 191,1566 resultante da perda de uma unidade correspondente à do ácido caféico por meio de um rearranjo remoto de um próton (DEMARQUE et al., 2016; CHENG et al., 2012; LI et al., 2013). O íon em *m/z* 85 foi relatado em poucos trabalhos, sendo que o fragmento gerado por meio da eliminação do grupo $C_{12}H_{12}O_7$ caracteriza a molécula como ácido clorogênico. A perda neutra inicial de 161 Da, seguida de mais 161 Da, é característica do ácido clorogênico, com obtenção dos fragmentos *m/z* 191,1566; 179,5523 e 161,0573 (PUIGVENTÓS et al., 2015; PEARSON et al., 2014).

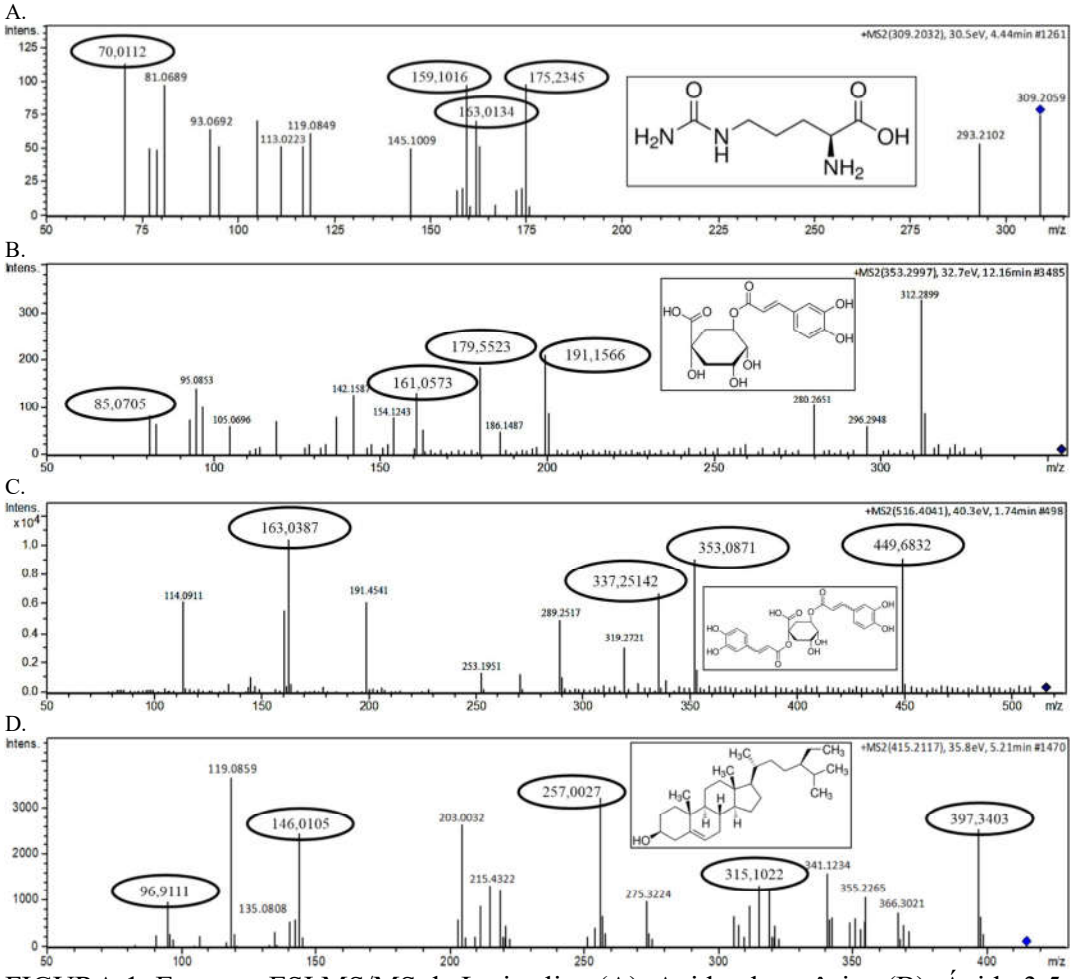


FIGURA 1. Espectro ESI MS/MS da L-citrulina (A), Acido clorogênico (B), Ácido 3,5-dicafeoilquínico (C) e β-Sitosterol (D). Dourados, UFGD, 2019.

A identificação do ácido 3,5-dicafeoilquínico foi feita a partir do maior fragmento em *m/z* 516,4041 (Figura 1C). O fragmento em *m/z* 163,0387 provém da eliminação neutra do o ácido quínico. Observa- se que em 449,6832 ocorre a perda de H_2O, e os íons em *m/z* 337,2514 são produzidos por eliminação neutra da porção ácido caféico, sendo este íon importante para a elucidação da estrutura. O fragmento *m/z* 337,2514 é produzido por eliminação neutra da porção ácido caféico, e posterior eliminação de H_2O possibilita a formação do íon *m/z* 353,0871 (CARLOTTO et al., 2015; NANDUTU et al., 2007).

O espectro de massa da Figura 1D permite confirmar a presença da substância β- sitosterol. O fragmento em *m/z* 397,3403 confirma a perda de água no anel "A". O fragmento *m/z* em 146,0105 é característico de esterol livre que tem uma ligação dupla no anel "B". A fragmentação em *m/z* 315,1022 e 257,0027 provavelmente surge após a perda da cadeia lateral do cátion éster. O fragmento em 96,9911 indica a perda de

H^- na cadeia lateral em CH_3, resultando na formação da cadeia lateral dupla em CH_2, com fórmula molecular C_7H_{13} (AHMIDA et al., 2006; NAGY et al., 2006; PELILLO et al., 2003).

O β-sitosterol pode ser transformado por via microbiológica, em substâncias que permitem a manipulação de anticoncepcionais, tornando-se um candidato a substituição da diosgenina como matéria prima. Além disso, progestinas e corticosteroides para tratamento de artrites, inflamações da pele, representam o grosso da produção mundial de drogas esteroidais, e são acessíveis a partir da Solasodina (PEREIRA et al. 2016), que é considerado um material de partida para a produção de andrógenos.

O espectro de massa da isoramnetina (Figura 2A) possui um pico do íon em 316,2841, com o íon fragmentado em *m/z* 245,0229, conforme constatado também por Jiang (2018) e Souza Neto (2016). Na Figura 2A também possui íon fragmentado em *m/z* 300,1455, o qual também foi descrito por Schieber et al. (2002) para isoramnetina.

O espectro de massa da catequina obtido possui um pico do íon em 290,8466 (Figura 2B). Os íons fragmentados em *m/z* 179,0234; 205,0106 e 273,21232 obtidos, também foram descritos por Bravo et al. (2006) após o efeito da colisão em 20 eV. Cabral (2010) também cita a presença de íons fragmentados em 139 e 273, corroborando com os resultados obtidos para a catequina (Figura 2B).

O pico do íon em 458,1869 no espectro de massa (Figura 2C), juntamente com os fragmentos dos íons em *m/z* 291,0143 e 443,1123 confirmam a presença da epigalocatequina, conforme descrito por Susanti et al. (2015).

O pico do íon em 304,3004 no espectro de massa identifica a taxifolina (Figura 2D), ainda nota-se no espectro os fragmentos dos íons em *m/z* 153,0167, conforme também descrito por Tsimogiannis et al. (2007).

O íon em *m/z* 432,2700 possui espectro de fragmentação característico da vitexina (Figura 2E), com fragmentos em *m/z* 341,2267 e 311,3125 característicos da perda de ligação em CH_2. Outros íons como m/z 158,9643 indicam a perda de O_2, em 1,35 Da, com fórmula molecular de $C_6H_7O_5$, bem como *m/z* em 90,9763, indica a perda de H_2O no anel “A” em 1,32 Da, com fórmula molecular de $C_3H_7O_3$ (ISWALDI et al., 2011).

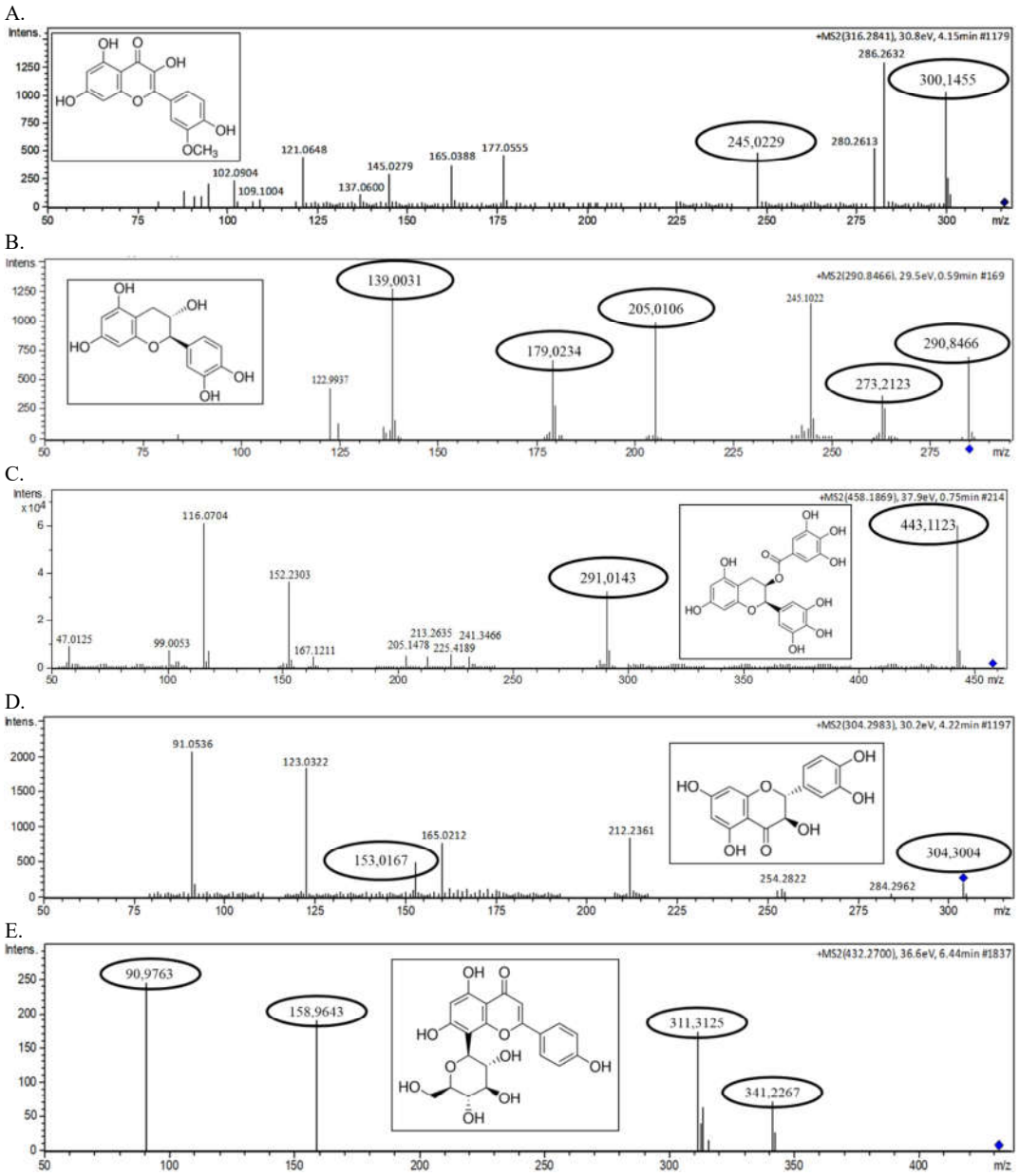


FIGURA 2. Espectro ESI MS/MS da isoramnetina (A), catequina (B), epigalocatequina (C), taxifolina (D) e Vitexina (E). Dourados, UFGD, 2019.

Na Figura 3A é identificada a substância Solanthrene por meio da fragmentação do íon base em *m/z* em 379,2437 com 34 eV, o que levou a formação do pico em 364,3004 com perda de energia em 29,97 Da. Fragmentos em *m/z* 164,1439; 150,1283; 122,09 demonstram a perda de característica de anéis “E” e “F”. O fragmento em *m/z* 352,3010 sugere perda de 21,95 Da, correspondente a perda de uma molécula de H_2O, conforme descrito por Allen et al. (2015) e Vaz et al. (2012).

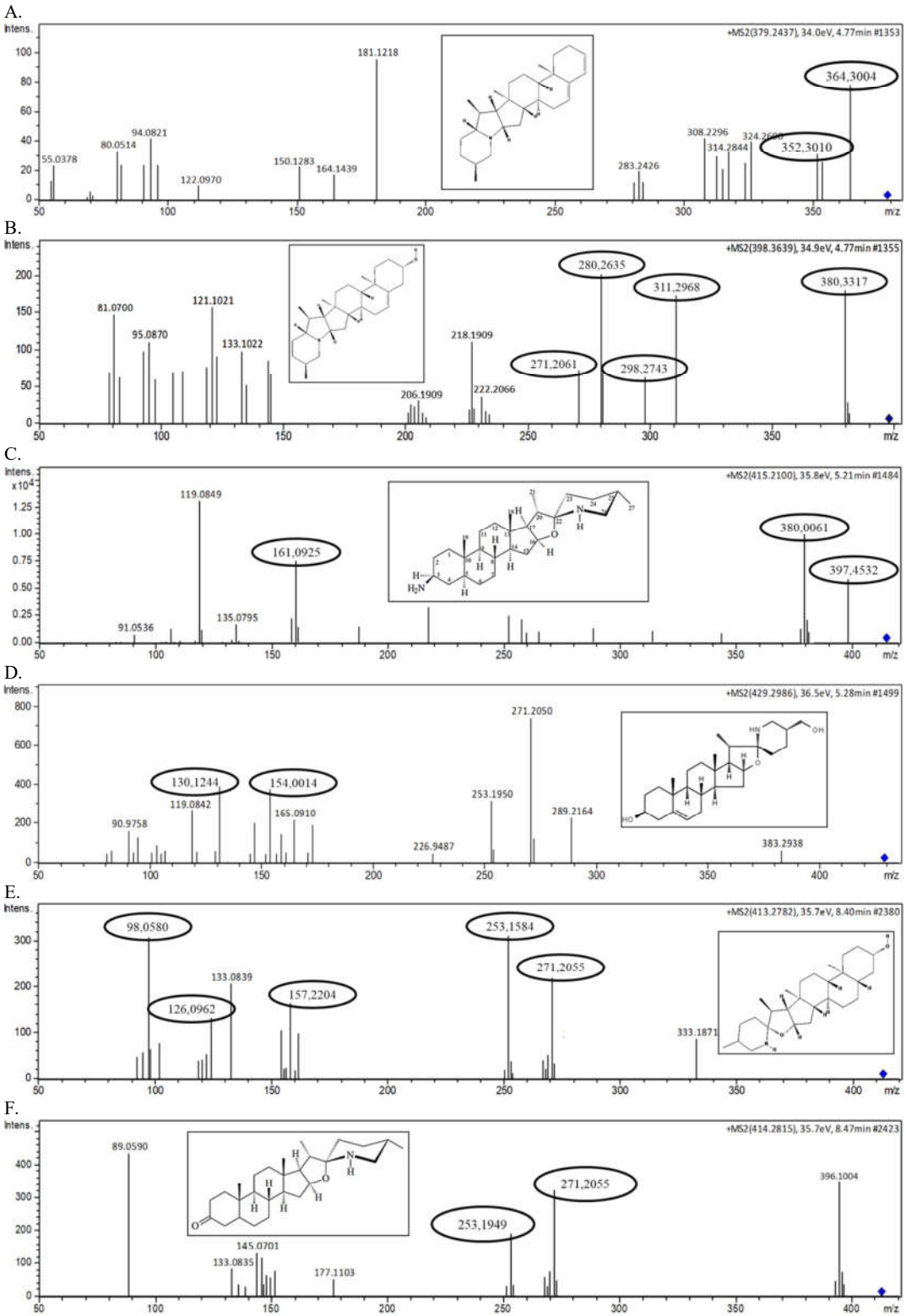


FIGURA 3. Espectro ESI MS/MS da Solanthrene (A), Solanidina (B), Soladunalinidina (C), Solaparnaina (D), Solasodina (E) e 5α-Tomatidan-3-ona (F). Dourados, UFGD, 2019.

A solanidina foi identificada com base nos fragmentos 380,3317 (Figura 3B), com perda característica de uma molécula de água e 100 Da. O fragmento em 298,2743 e 311,2968 sugerem perda de grupo metílico no anel "A". Os íons, *m/z* 271,2061 e 280,2635 são atribuídos a uma perda de parte da molécula ($C_8H_{17}N$) do íon precursor, *m/z* 398,3639 e perda de água em *m/z* 380,3317 (MACHADO et al., 2007; SHINBO et al., 2006; CHUDA et al., 2004).

O espectro de massa apresentado na Figura 3C dos íons com os potenciais de fragmentação aplicados em 35,8 eV, evidencia a perda de água em *m/z* 161,0925 com perda característica de 143 Da, e a fragmentação em *m/z* 380,0061 e 397,4532 sugere a perda de um grupo amino NH_3^-. Estes resultados são compatíveis com o alcaloide soladunalinidina, conforme dados descrito por Cataldi (2005).

O potencial de fragmentação aplicado em 36 eV, com *m/z* em 429,2986, é compatível com o alcaloide solaparnaina (Figura 3D), característico pelos fragmentos do tipo espirostano em *m/z* 130,1244 e 154,0014 (BHATTACHARYYA, 1985).

O espectro da solasodina (Figura 3E) é caracterizado pela perda de água no íon *m/z* 413,2782 devido à fragmentação do anel "E" que produz os íons hidrocarbonetos em *m/z* 271,2055 e 253,1584. A fragmentação desse anel leva a formação de íons nitrogenados m/z 126,0962 e 98,0580, compatíveis com a solasodina. O íon em *m/z* 157,2204 confirma a fragmentação do anel "B", conforme descrito por Cahill et al. (2010) e Machado et al. (2007).

A identificação do alcaloide 5 α-Tomatidan-3-ona (Figura 3F), se deu pela fragmentação em *m/z* 414,2815; com perda de 143 Da. Fragmentos em *m/z* 271,2055 e 253,1949 evidenciam a perda de uma molécula de H_2O, que resulta na eliminação dos anéis "E" e "F" em espirossolanos (VAZ et al., 2012).

Os alcaloides esteroidais identificados no presente estudo (solasodina, solaparnaina, solanthrene, solanidina, soladunalinidina, e 5α-Tomatidan-3-ona) são do tipo epirossolanos. Substâncias esteroidais podem apresentar variações estruturais, relacionadas às suas propriedades farmacológicas que constituem um dos recursos no tratamento de doenças humanas e veterinárias. A este exemplo, tem-se a diosgenina, uma sapogenina esteroidal, presente na forma de glicosídeo em várias plantas, e em alta concentração nas espécies do gênero *Dioscorea* (AGRA et al., 2009). Entretanto, sua disponibilidade no mercado vem diminuindo pela dificuldade crescente no processo de extração, sendo que o alcaloide esteroidal Solasodina, análogo nitrogenado da diosgenina, também pode ser convertido no acetato de 16-deshidropregnenolona

(SILVA et al., 2012) o que torna interessante estudos de isolamento, purificação e síntese desse alcaloide para aplicação na indústria farmacêutica.

3.2. ALTERAÇÕES NA CONSTITUIÇÃO QUÍMICA DOS EXTRATOS ETANÓLICOS DAS FOLHAS E FRUTOS DE JURUBEBA SUBMETIDAS A SECAGEM

Os extratos etanólicos preparados a partir de folhas e frutos (verdes e maduros) de jurubeba, submetidos a diferentes condições do ar de secagem, apresentaram alterações em sua constituição química. A avaliação dos componentes químicos dos extratos etanólicos por meio de UHPLC - MS/MS, possibilitou o estudo sobre as alterações na presença dos metabólitos secundários identificados, Para isso utilizou-se a inonização por eletronspray no modo positivo, logo o pico do íon molecular (M) foi identificado como $[M+H]^+$ e $[M+Na]^+$ com as massas do aduto protonado e do aduto de sódio.

Com relação à presença dos ácidos fenólicos, foi observado que apenas o extrato etanólico das folhas apresentou o ácido clorogênico, porém os extratos etanólicos das folhas secas sob a temperatura do ar de 70 °C e velocidade de 0,4 m s^{-1}, bem como para as folhas secas nas temperaturas do ar de 50, 60 e 70°C, sob a velocidade do ar de 0,8 m s^{-1} não apresentaram esta substância em sua constituição (Tabela 4).

Apenas o extrato etanólico das folhas fresca e seca na temperatura do ar de 40 °C com velocidade de 0,4 m s^{-1}, e o extrato dos frutos verdes, frescos e secos com a temperatura do ar de 40 °C, apresentaram o β-sistosterol em sua composição. O ácido 3,5-dicafeoilquínico foi identificado nos extratos etanólicos das amostras das folhas e frutos maduros, sendo que a sua presença, nos extratos das folhas, ocorre no material fresco e nos extratos etanólicos das folhas secas nas temperaturas de 40 e 50 °C, com velocidade do ar de 0,4 m s^{-1} (Tabela 4). Já no fruto maduro ocorre nos extratos etanólicos do material fresco e seco na temperatura do ar de 40 °C.

TABELA 4. Ácidos fenólicos, fitoesterol e aminoácido, em sua forma positiva, encontradas nas folhas, frutos verdes e maduros de jurubeba

Ar de secagem	Ácido clorogênico	β-Sitosterol	L-citrulina	Ácido 3,5-dicafeoilquínico
		Folhas		
Material fresco	+	+	-	+
40°C - 0,4 m s^{-1}	+	+	-	+
50°C - 0,4 m s^{-1}	+	-	-	+
60°C - 0,4 m s^{-1}	+	-	-	-
70°C - 0,4 m s^{-1}	-	-	-	-
40°C - 0,8 m s^{-1}	+	-	-	-
50°C - 0,8 m s^{-1}	-	-	-	-
60°C - 0,8 m s^{-1}	-	-	-	-
70°C - 0,8 m s^{-1}	-	-	-	-
		Frutos verdes		
Material fresco	-	+	+	-
40°C	-	+	-	-
50°C	-	-	-	-
60°C	-	-	-	-
70°C	-	-	-	-
		Frutos maduros		
Material fresco	-	-	+	+
40°C	-	-	+	+
50°C	-	-	+	-
60°C	-	-	-	-
70°C	-	-	-	-

Nota: (+) substância presente; (-) substância ausente.

A L-citrulina ocorreu apenas nos extratos etanólicos dos frutos de jurubeba (Tabela 4), sendo sua presença restrita aos extratos etanólicos dos frutos verdes frescos, e nos extratos etanólicos dos frutos maduros frescos e secos nas temperaturas do ar de 40 e 50 °C, indicando uma sensível degradação desta substância decorrente da temperatura do ar de secagem.

Com relação aos flavonoides identificados e que são de interesse medicinal, observou-se a presença de isoramnetina nos extratos etanólicos das folhas frescas e secas em todas as temperaturas do ar de secagem na velocidade do ar de 0,4 m s^{-1} e nos frutos maduros frescos e secos na temperatura do ar de 40 e 50 °C (Tabela 5).

A presença da catequina foi observada nos extratos etanólicos das folhas frescas e naqueles preparados com as folhas secas em todas as temperaturas com velocidade do ar de secagem de 0,8 m s^{-1}. De maneira similar ao que foi observado para a isoramnetina, apenas os extratos etanólicos das folhas frescas e secas nas temperaturas de 40 e 50 °C sob velocidade do ar de secagem de 0,4 m s^{-1}, apresentaram a vitexina em sua constituição (Tabela 5).

TABELA 5. Flavonoides em sua forma positiva, encontradas nas folhas, frutos verdes e maduros de jurubeba

Ar de secagem	Isoramnetina	Catequina	Epigalocatequina	Taxifolina	Vitexina
			Folhas		
Material fresco	+	+	-	-	+
40°C - 0,4 m s^{-1}	+	-	-	-	+
50°C - 0,4 m s^{-1}	+	-	-	-	+
60°C - 0,4 m s^{-1}	+	-	-	-	-
70°C - 0,4 m s^{-1}	+	-	-	-	-
40°C - 0,8 m s^{-1}	-	+	-	-	-
50°C - 0,8 m s^{-1}	-	+	-	-	-
60°C - 0,8 m s^{-1}	-	+	-	-	-
70°C - 0,8 m s^{-1}	-	+	-	-	-
			Frutos verdes		
Material fresco	-	-	-	+	+
40°C	-	-	-	+	+
50°C	-	-	-	+	-
60°C	-	-	-	+	-
70°C	-	-	-	-	-
			Frutos maduros		
Material fresco	+	+	+	+	+
40°C	+	+	+	+	+
50°C	+	+	+	+	+
60°C	-	-	-	-	-
70°C	-	-	-	-	-

Nota: (+) substância presente; (-) substância ausente.

Os extratos etanólicos dos frutos verdes apresentaram apenas os flavonoides taxifolina (frutos frescos e secos com as temperaturas do ar de secagem de 40, 50, e 60 °C) e vitexina (frutos frescos e secos com a temperatura do ar de secagem de 40 °C), enquanto dos frutos maduros frescos e secos com as temperaturas do ar de secagem de 40 e 50 °C apresentaram todos os flavonoides em sua constituição (Tabela 5). Isso evidencia que todos os flavonoides identificados nos extratos etanólicos preparados com os frutos maduros apresentaram sensibilidade as temperaturas do ar de secagem de 60 e 70 °C.

Com relação à presença de alcaloides, observa-se que os extratos etanólicos das folhas frescas apresentaram os seis alcaloides identificados, havendo, portanto, variação na presença em função da temperatura e velocidade do ar de secagem (Tabela 6).

TABELA 6. Alcaloides em sua forma positiva, encontradas nas folhas, frutos verdes e maduros de jurubeba.

Ar de secagem	5α-Tomatidan-3-ona	Solanthrene	Solasodina	Solaparnaina	Solanidina	Soladunalinidina
			Folhas			
Material fresco	+	+	+	+	+	+
40°C - 0,4 m s^{-1}	+	+	+	+	+	+
50°C - 0,4 m s^{-1}	+	+	+	+	+	-
60°C - 0,4 m s^{-1}	+	-	+	+	-	-
70°C - 0,4 m s^{-1}	+	-	-	-	-	-
40°C - 0,8 m s^{-1}	+	+	-	-	-	-
50°C - 0,8 m s^{-1}	-	-	-	-	-	-
60°C - 0,8 m s^{-1}	-	-	-	-	-	-
70°C - 0,8 m s^{-1}	-	-	-	-	-	-
			Frutos verdes			
Material fresco	+	+	+	+	+	+
40°C	+	+	+	+	+	+
50°C	+	+	+	-	-	-
60°C	-	-	-	-	-	-
70°C	-	-	-	-	-	-
			Frutos maduros			
Material fresco	+	-	-	-	-	-
40°C	-	-	-	-	-	-
50°C	-	-	-	-	-	-
60°C	-	-	-	-	-	-
70°C	-	-	-	-	-	-

Nota: (+) substância presente; (-) substância ausente.

Nos extratos etanólicos preparados a partir das folhas secas com a velocidade do ar de secagem de 0,4 m s^{-1}, o alcaloide 5α-Tomatidan-3-ona esteve presente, independente da temperatura do ar de secagem. Os outros alcaloides identificados estavam ausentes nos extratos das folhas que foram submetidas à secagem com a temperatura do ar de 70 °C, enquanto, os alcaloides solanthrene, solanidina, soladunalinidina estavam ausentes no material seco com temperatura do ar de 60 °C, este último alcaloide também estava ausente no material seco a 50 °C (Tabela 6). Pode-se assim, inferir que esses alcaloides apresentam sensibilidade com à elevação da temperatura do ar de secagem. Os extratos etanólicos das folhas secas com a velocidade do ar de secagem de 0,8 m s^{-1}, apresentaram apenas os alcaloides 5α-Tomatidan-3-ona e Solanthrene para a temperatura do ar de secagem de 40 °C.

Os extratos etanólicos dos frutos verdes frescos e secos com a temperatura do ar de 40 °C apresentaram todos os alcaloides identificados (Tabela 6), porém esses alcaloides estão ausentes nos extratos etanólicos do material seco com as temperaturas do ar de 60 e 70 °C. Além disso, nota-se a ausência dos alcaloides solaparnaina, solanidina e soladunalinidina nos extratos dos frutos verdes secos com a temperatura do

ar de 50 °C, indicando a sensibilidade desses alcaloides às condições de secagem. Já para os extratos etanólicos dos frutos maduros, apenas a amostra fresca apresentou um alcaloide em sua constituição, o 5α-Tomatidan-3-ona.

Com base na análise da presença/ausência de alcaloides nos frutos de jurubeba, visando o uso de material vegetal com baixos níveis de alcaloides, é interessante o uso do fruto verde submetido ao processo de secagem, visto a sensibilidade dos alcaloides a temperaturas elevadas do ar de secagem (60 e 70 °C) nesse material (Tabela 6). O mesmo ocorre para o extrato etanólico do fruto maduro, porém nesse, a ausência do alcaloide identificado ocorre ao submeter o fruto a secagem em temperaturas a partir de 40 °C.

4. CONCLUSÕES

As condições do ar de secagem interferiram na preservação de substâncias nas folhas e frutos, verdes e maduros, de jurubeba.

A ausência de alcaloides que são considerados tóxicos, ocorreu com a elevação da temperatura do ar de secagem nas folhas e frutos de jurubeba.

Para recomendação da condição do ar para a secagem, tanto para folhas quanto frutos de jurubeba, deve-se levar em consideração quais são as substâancias de interesse no material para determinada aplicação, podendo assim, inferir quais as condições de secagem influenciam na manutenção/degradação das substâncias de interesse.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRA, M. de F.; SILVA, K. N.; BERGER, L. R. Flora da Paraíba, Brasil: *Solanum* L. (Solanaceae). **Revista Acta Botanica Brasilica**, v. 23, n. 3, p. 826-842, 2009.

AHMIDA, H.S. M.; BERTUCCI, P.; FRANZÒ, L.; MASSOUD, R.; CORTESE, C.; LALA, A.; FEDERICI, G. Simultaneous determination of plasmatic phytosterols and cholesterol precursors using gas chromatography–mass spectrometry (GC-MS) with selective ion monitoring (SIM). **Journal of Chromatography B**, v. 842, n. 1, p. 43-47, 2006.

ALLEN, F.; GREINER, R.; WISHART, D. Competitive fragmentation modeling of ESI-MS/MS spectra for putative metabolite identification. **Metabolomics**, v. 11, n. 1, p. 98-110, 2015.

ASABE - American Society of Agricultural and Biological Engineers. Moisture Measurement – Forages: Standard S358.2 DEC1988, R2008. In: **American Society of Agricultural and Biological Engineers** (ed.). Standards, Engineering Practices, and Data. St. Joseph: ASABE, 2010. p.684-685.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. **Official methods of analysis.** 16 ed. Maryland,1997. 1141p.

BHATTACHARYYA, J. Structure of solaparnaine, a new spirosolane alkaloid from the green berries of Solanum asperum Vahl. **Heterocycles**, v. 23, n. 12, p. 3111- 3112, 1985.

BOTION, L. M.; FERREIRA, A.V.M.; CORTES, S. F.; LEMOS, V. S.; BRAGA, F. C. Effects of the Brazilian phytopharmaceutical product Ierobina® on lipid metabolism and intestinal tônus. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 102, n. 2, p. 137-142, 2005.

BRAGA, F. C.; VALADARES, Y. M.; COSTA, M. A.; LOMBARDI, J. A.; OLIVEIRA, A.B. de. Estudo fitoquímico de *Erythraea centaurium*, *Jacaranda caroba*, *Remijia ferruginea* e *Solanum paniculatum* visando identificar marcadores químicos para o fitoterápico Ierobina®. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 13, supl. 2, p. 28-31, 2003.

BRASIL. Código Farmacêutico Brasileiro. **Farmacopeia dos Estados Unidos do Brasil**. 2.ed. São Paulo: Ind. Gráfica Siqueira, 1959. 1265p.

BRAVO, M. N.; SILVA, S.; COELHO, A. V.; BOAS, L. V.; BRONZE, M. R. Analysis of phenolic compounds in Muscatel wines produced in Portugal. **Analytica Chimica Acta**, v. 563, n. 1-2, p. 84-92, 2006.

CABRAL, E. C. **Utilização da técnica de *fingerprinting* por espectrometria de massas para a análise de extratos de produtos naturais**. 2010. 144p. Tese (Doutorado em Química) - Universidade de São Paulo, São Paulo-SP.

CAHILL, M. G.; CAPRIOLI, G; VITTORI, S.; JAMES, K. J. Elucidation of the mass fragmentation pathways of potato glycoalkaloids and aglycons using Orbitrap mass spectrometry. **Journal Mass Spectrometry**, v. 45, n. 9, p. 1019-1025, 2010.

CARLOTTO, J.; SILVA, L. M. da; DARTORA, N.; MARIA-FERREIRA, D.; SABRY, D. de A.; FILHO, A. P. S.; WERNER, M. F. de P.; SASSAKI, G. L.; GORIN, P. A. J.; IACOMINI, M.; CIPRIANI, T. R.; SOUZA, L. M. de. Identification of a dicaffeoylquinic acid isomer from *Arctium lappa* with a potent anti-ulcer activity. **Talanta**, v. 135, p. 50-57, 2015.

CATALDI, T. R. I.; LELARIO, F.; BUFO, S. A. Analysis of tomato glycoalkaloids by liquid chromatography coupled with electrospray ionization tandem mass spectrometry. **Rapid Communications in Mass Spectrometry**, v. 19, p. 3103-3110, 2005.

CHENG, L.; XIAO, L.; CHEN, W.; WANG, J.; CHE, F.; WU, B. Identification of compounds characterizing the aroma of oblate-peach fruit during storage by GC-MS. **Journal of Stored Products and Postharvest Research**, v. 3, n. 5, p. 54-62, 2012.

CHUDA, Y.; TSUDA, S.; OHARA-TAKADA, A.; KOBAYASHI, A.; SUZUKI, K.; ONO, H.; YOSHIDA, M.; NAGATA, T.; KOBAYASHI, S.; MORI, M. Quantification of Light-Induced Glycoalkaloids, α-Solanine and α-Chaconine, in Four Potato Cultivars (*Solanum tuberosum* L.) Distributed in Japan by LC/MS. **Food Science and Technology Research**, v. 10, n. 3, p. 341-345, 2004.

DEMARQUE, D. P.; CROTTI, A. E. M.; VESSECCHI, R.; LOPES, J. L. C.; LOPES, N. P. Fragmentation reactions using electrospray ionization mass spectrometry: an importante tool for the structural elucidation and characterization of synthetic and natural products. **Natural Product Reports,** v. 33, n. 3, p. 432-455, 2016.

GARLET, T. M. B.; MATTOS, J. P. O. de; MARTINS, M. C. **Plantas medicinais de emprego popular em Palmeira das Missões, RS**. 2. ed. Santa Maria : Ed. PRE, 2017. 44p.

GOMES, A. D.; LIMA, R. A. Identificação de classes de metabólitos secundários no extrato etanólico dos frutos de solanum acanthodes hook e seu potencial fungicida sobre candida albicans in vitro. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – REGET**, v. 18, n. 2, p.736-744, 2014.

GOMES, R. V. R. de S.; VILELA, V. L. R.; GOMES, E. da N.; MAIA, A. J.; ATHAYDE, A. C. R. Análise fitoquímica de extratos botânicos utilizados no tratamento de helmintoses gastrintestinais de pequenos ruminantes. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 4, p. 172-177, 2011.

GONELI, A. L. D.; MARTINS, E. A. S.; JORDAN, R. A.; GEISENHOFF, L. O.; GARCIA, R. T. Experimental dryer design for agricultural products. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 5, p. 938-950, 2016.

GRANDI, S. M. **Tratado das plantas medicinais**: mineiras, nativas e cultivadas. 1 ed. Dados eletrônicos – Belo Horizonte: Adaequatio Estúdio, 2014. 1204 p.

ISWALDI, I.; ARRÁEZ-ROMÁN, D.; RODRÍGUEZ-MEDINA, I.; BELTRÁN-DEBÓN, R.; JOVEN, J.; SEGURA-CARRETERO, A.; FERNÁNDEZ-GUTIÉRREZ, A. Identification of phenolic compounds in aqueous and ethanolic rooibos extracts (*Aspalathus linearis*) by HPLC-ESI-MS (TOF/IT). **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, v. 400, n. 10, p. 3643-3654, 2011.

JIANG, Z.; WANG, J.; CHEN, X.; WANG, X.; WANG, T.; ZHU, Z.; PAN, J. Simultaneous determination of kaempferide, kaempferol and isorhamnetin in Rat Plasma by Ultra-High Performance Liquid Chromatography-Tandem mass spectrometry and its application to a pharmacokinetic study. **Revista da Sociedade Brasileira de Química**, v. 29, n. 3, p. 535-542, 2018.

JONES, J. W.; TUDOR, G.; BENNETT, A.; FARESE, A. M.; MORONI, M.; BOOTH, C. E.; MACVITTIE, T. J.; KANE, M. A. Development and validation of a LC-MS/MS assay for quantitation of plasma citrulline for application to animal models of the acute radiation syndrome across multiple species. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, v. 406, n. 19, p. 4663–4675, 2014.

KAZIYAMA, V. M.; FERNANDES, M. J. B.; SIMONI, I. C. Atividade antiviral de extratos de plantas medicinais disponíveis comercialmente frente aos herpesvírus suíno e bovino. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 14, n. 3, p. 522-528, 2012.

LI, Y. J.; WANG, Z. Z.; BI, Y. A.; DING, G.; SHENG, L. S.; MUSSELMAN, B.; ZHANG, C. F.; CHEN, J.; XIAO, W. Direct analysis in real time ionization/quadrupole time-of-flight tandem mass spectrometry for rapid identification of iridoid glycosides and caffeoylquinic acids in Re Du Ning Injections. **Analytical Methods**, v. 5, p. 7081-7089, 2013.

LÔBO, K. M. S.; ATHAYDE, A. C. R.; SILVA, A. M. A.; RODRIGUES, F. F. G.; LÔBO, I. S.; BEZERRA, D. A. C.; COSTA, J. G. M. Avaliação da atividade antibacteriana e prospecção fitoquímica de *Solanum paniculatum* Lam. e *Operculina hamiltonii* (G. Don) D. F. Austin & Staples, do semiárido paraibano. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 12, n. 2, p. 227-233, 2010.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. **Plantas medicinais no Brasil:** Nativas e exóticas. 2 ed. Nova Odessa-SP: Instituto Plantarum de Estudos da Flora Ltda, 2008. 544p.

MACHADO, R. M. D.; TOLEDO, M. C. F.; GARCIA, L. C. Effect of light and temperature on the formation of glycoalkaloids in potato tubers. **Food Control**, v. 18, n. 5, 503-508, 2007.

MESIA-VELA, S.; SANTOS, M. T.; SOUCCAR, C.; LIMA-LANDMAN, M. T. R.; LAPA, A. J. *Solanum paniculatum* L. (Jurubeba): Potent inhibitor of gastric acid secretion in mice. **Phytomedicine**, v. 9, n. 6, p. 508-514, 2002.

MINISTÉRIO DA SAÚDE**. Plantas Medicinais de Interesse ao SUS – Renisus.** Disponível em: http://portalms.saude.gov.br/acoes-e-programas/programa-nacional-de-plantas-medicinais-e-fitoterapicos-ppnpmf/politica-e-programa-nacional-de-plantas-medicinais-e-fitoterapicos/plantas-medicinais-de-interesse-ao-sus-renisus. Acessado em 05 de janeiro de 2019.

NAGY, K.; JAKAB, A.; POLLREISZ, F.; BONGIORNO, D.; CERAULO, L., AVERNA, M. R., NOTO, D., VÉKEY, K. Analysis of sterols by high-performance liquid chromatography/mass spectrometry combined with chemometrics. **Rapid Communications in Mass Spectrometry**, v. 20, n. 16, p. 2433-2440, 2006.

NANDUTU, A. M.; CLIFFORD, M.; HOWELL, N. K. Analysis of phenolic compounds in Ugandan sweet potato varieties (NSP, SPK AND TZ). **African Journal of Biochemistry Research**, v. 1, n. 3, p. 029-036, 2007.

NG, E. W. Y.; LAM, H. S.; NG, P. C.; POON, T. C. W. Study of Isobaric Interference in Quantification of Citrulline by Parallel Fragmentation Monitoring. **Mass Spectrometry**, v. 3, p. 1-6, 2014.

PEARSON, J. L.; LEE, S.; SURESH, H.; LOW, M.; NANG, M.; SINGH, S.; LAMIN, F.; KAZZEM, M.; SULLIVAN, S.; KHOO, C. S. The liquid chromatographic determination of Chlorogenic and Caffeic Acids in Xu Duan (*Dipsacus asperoides*) Raw Herb. **Analytical Chemistry**, v. 2014, p. 1-6, 2014.

PELILLO, M.; LAFELICE, G.; MARCONI, E.; CABONI, M. F. Identification of plant sterols in hexaploid and tetraploid wheats using gas chromatography with mass spectrometry. **Rapid Communications in Mass Spectrometry**, v. 17, n. 20, p. 2245-2252, 2003.

PEREIRA, I. S. P.; RODRIGUES, V. F.; VEGA, M. R. G. Flavonoides do Gênero *Solanum*. **Revista Virtual de Química**, v. 8, n. 1, p. 4-26, 2016.

PUIGVENTÓS, L.; NAVARRO, M.; ALECHAGA, E.; NÚÑEZ, O.; SAURINA, J.; HERNÁNDEZ-CASSOU, S.; PUIGNOU, L. Determination of polyphenolic profiles by liquid chromatography-electrospray-tandem mass spectrometry for the authentication of fruit extracts. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, v. 407, n. 2, p. 597-608, 2015.

ROCHA, R. P.; MELO E. C.; RADÜNZ, L. L. Influence of drying process on the quality of medicinal plants: A review. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 5, n. 33, p. 7076-7084, 2011.

SCHIEBER, A.; KELLER, P.; STREKER, P.; KLAIBER, I.; CARLE, R. Detection of Isorhamnetin Glycosides in Extracts of Apples (*Malus domestica* cv. "Brettacher") by HPLC-PDA and HPLC-APCIMS/MS. **Phytochemical Analysis**, v. 13, p. 87-94, 2002.

SHINBO, Y.; NAKAMURA, Y.; ALTAF-UL-AMIN, M.; ASAHI, H.; KUROKAWA, K.; ARITA, M.; SAITO, K.; OHTA, D.; SHIBATA, D.; KANAYA, S. KNApSAcK: A Comprehensive Species-Metabolite Relationship Database. **Biotechnology in Agriculture and Forestry**, v. 57, p. 165-181, 2006.

SILVA, L.; DURÇO, E.; PINHEIRO, J.; BESSA, E. C. de A. Effect of Solanum paniculatum leaf extract on food consumption, fertility and carbohydrate metabolism of Bradybaena similaris snail. **Journal of Natural Products**, v. 6, p.168-176, 2013.

SILVA, P. C. B.; CLEMENTINO NETO, J.; SILVA, A. D. S. da; SILVA, K. de M.; SILVA, T. M. S.; AGRA, M. de F.; CAVALCANTE, F. de A. Antidiarrheal activity of *Solanum asterophorum* in mice. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 22, n. 1, p. 131-136, 2012.

SOUZA NETO, M. A. de. *Ziziphus joazeiro* **Martius: Estudo fitoquímico do extrato hidroetanólico das folhas, fracionamento bioguiado anti-*Candida* e avaliação do efeito protetor em modelo de doença inflamatória intestinal**. 2016. 262p. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêticas) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal – RN.

SUSANTI, E.; CIPTATI; RATNAWATI, R.; AULANNI'AM; RUDIJANTO, A. Qualitative analysis of catechins from green tea GMB-4 clone using HPLC and LC-MS/MS. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, v. 5, n. 12, p. 1046-1050, 2015.

TAGLIATI, C. A.; SILVA, R. P.; FÉRES, C. A. O.; JORGE, R. M.; ROCHA, O. A.; BRAGA, F. C.Acute and chronic toxicological studies of the Brazilian phytopharmaceutical product Ierobina®. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 18, supl. 0, p. 676-682, 2008.

TERÇO, J. W. dos S.; LIMA, R. A. Identificação das classes de metabólitos secundários no extrato etanólico dos frutos e folhas de *Solanum paniculatum* L. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, v. 3, n. 2, p. 92-99, 2016.

TSIMOGIANNIS, D.; SAMIOTAKI, M.; PANAYOTOU, G.; OREOPOULOU, V. Characterization of flavonoid subgroups and hydroxy substitution by HPLC-MS/MS. **Molecules**, v. 12, p. 593-606, 2007.

VAZ, N. P.; COSTA, E. V.; SANTOS, E. L.; MIKICH, S. B.; MARQUES, F. A.; BRAGA, R. M.; DELARMELINA, C.; DUARTE, M. C. T.; RUIZ, A. L. T. G.; SOUZA, V. H. S.; CARVALHO, J. E. de; Maia, B. H. L. N. S. Caavuranamide, a Novel Steroidal Alkaloid from the Ripe Fruits of *Solanum caavurana* Vell. (Solanaceae). **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 23, n. 2, p. 361-366, 2012.

CONCLUSÕES GERAIS

O aumento da temperatura do ar reduz consideravelmente o tempo de secagem das folhas e frutos de jurubeba.

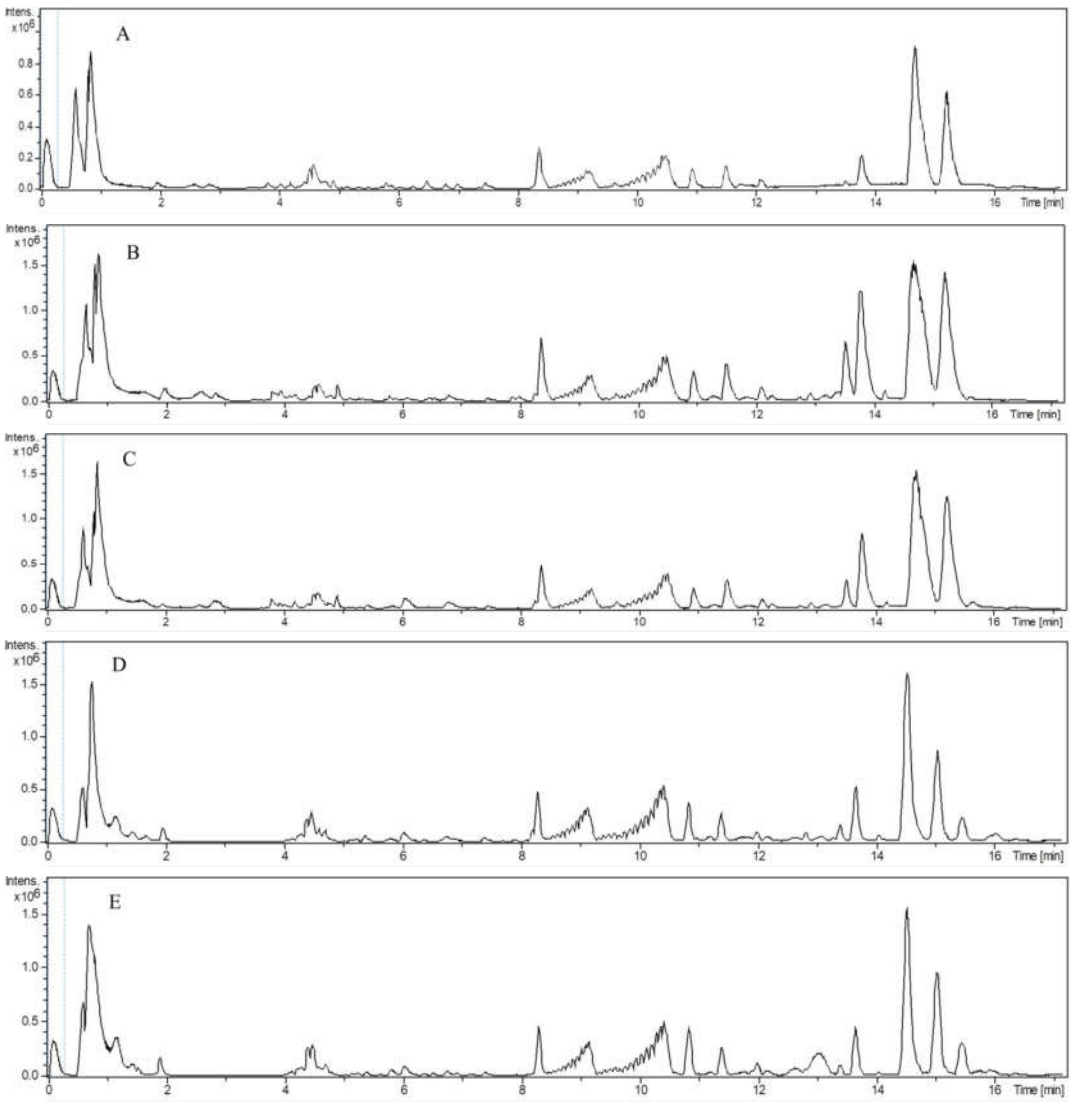
O aumento da velocidade do ar também provoca a redução do tempo de secagem das folhas de jurubeba, de maneira menos acentuada que aquela observada com o incremento da temperatura do ar.

O modelo matemático de Midilli pode ser utilizado para representar o processo de secagem, adequadamente, para todas as condições do ar de secagem estudadas no presente trabalho para as folhas e frutos (verdes e maduros) de jurubeba.

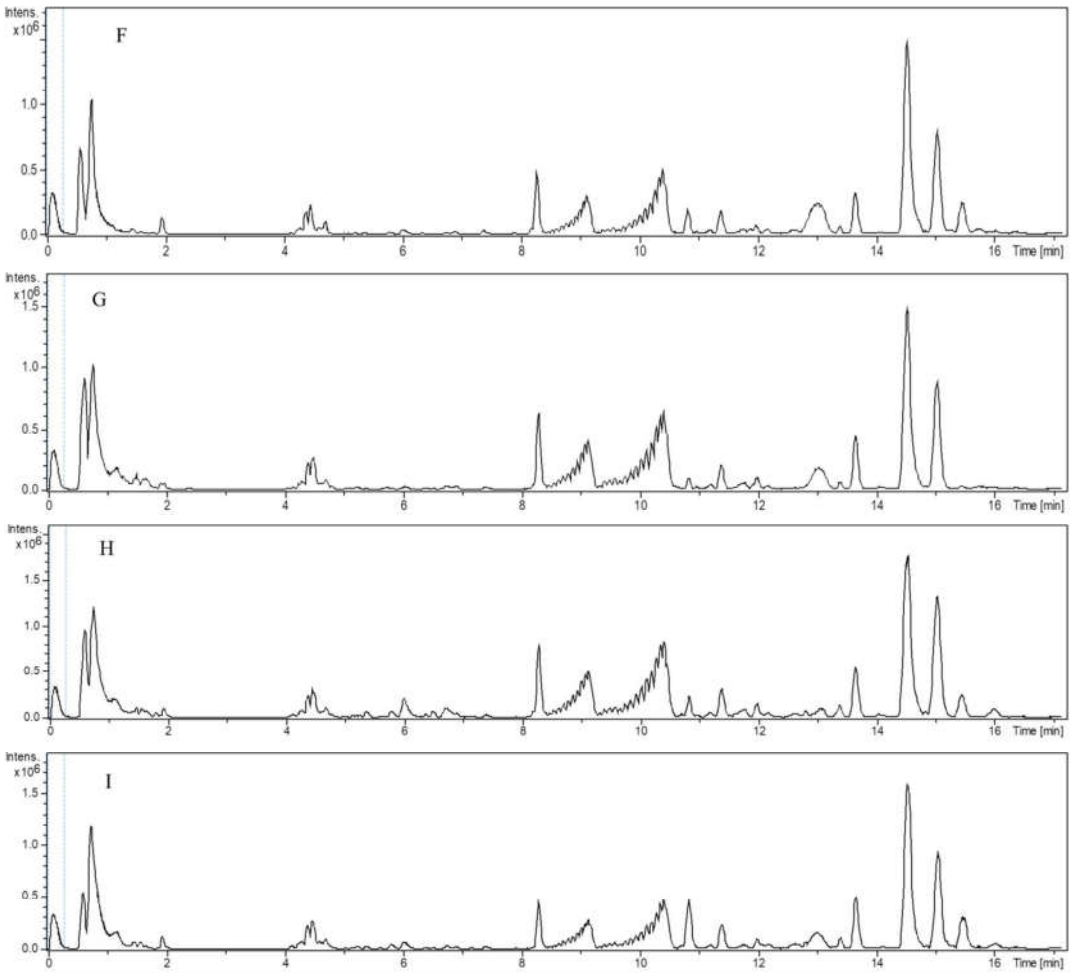
A secagem das folhas de jurubeba pode ser realizada com a temperatura de 40 ou 50 °C e velocidade do ar de secagem de 0,4 m s^{-1}. Já para os frutos, a secagem pode ser realizada com a temperatura do ar de 70 °C, devido ao menor teor de alcaloides totais e maior teor de compostos fenólicos e da atividade antioxidante, com os melhores resultados dessas variáveis para o fruto maduro.

Com relação aos extratos etanólicos brutos, foi verificado que as condições do ar de secagem influenciam a presença ou ausência de substâncias nas folhas e frutos, verdes e maduros, de jurubeba.

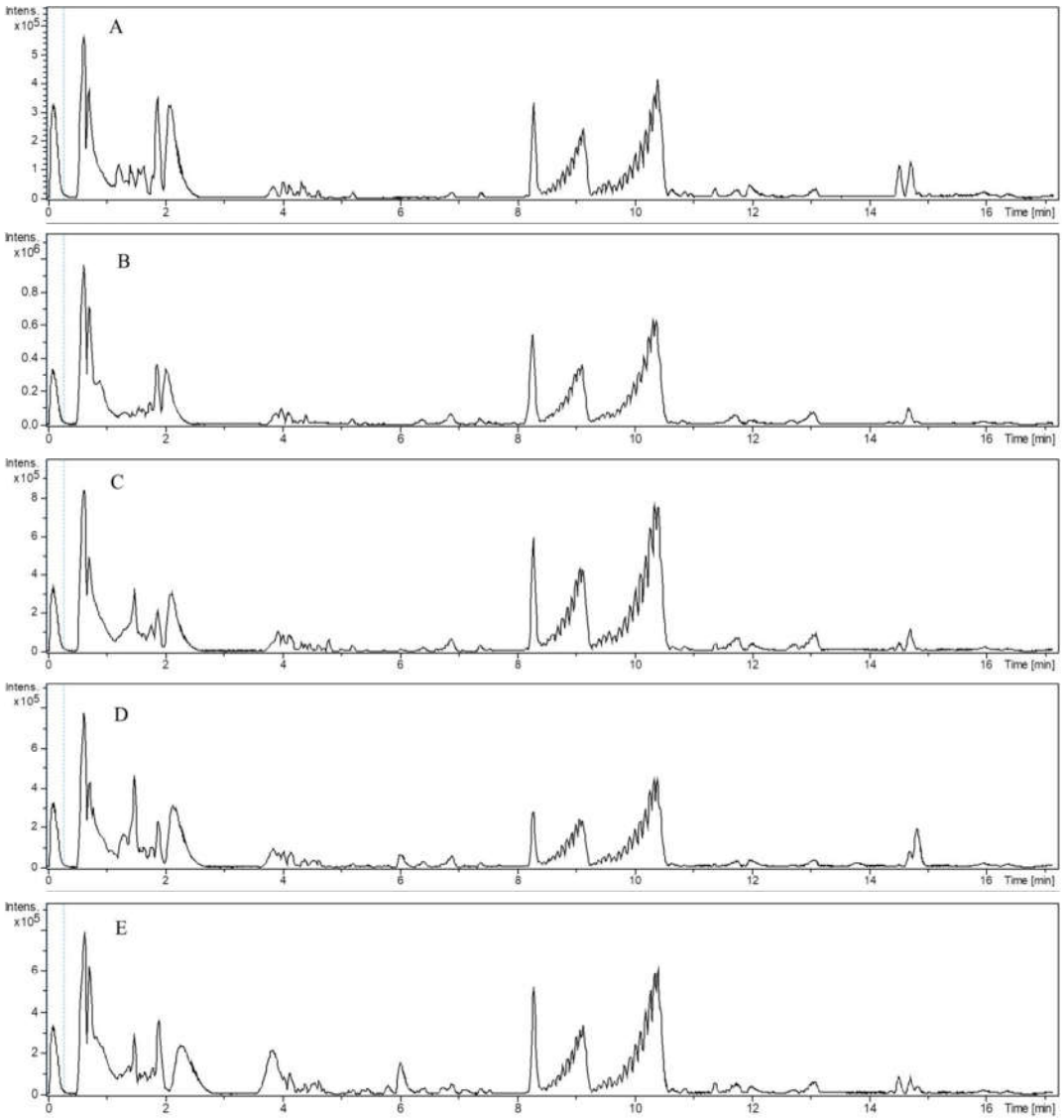
ANEXOS



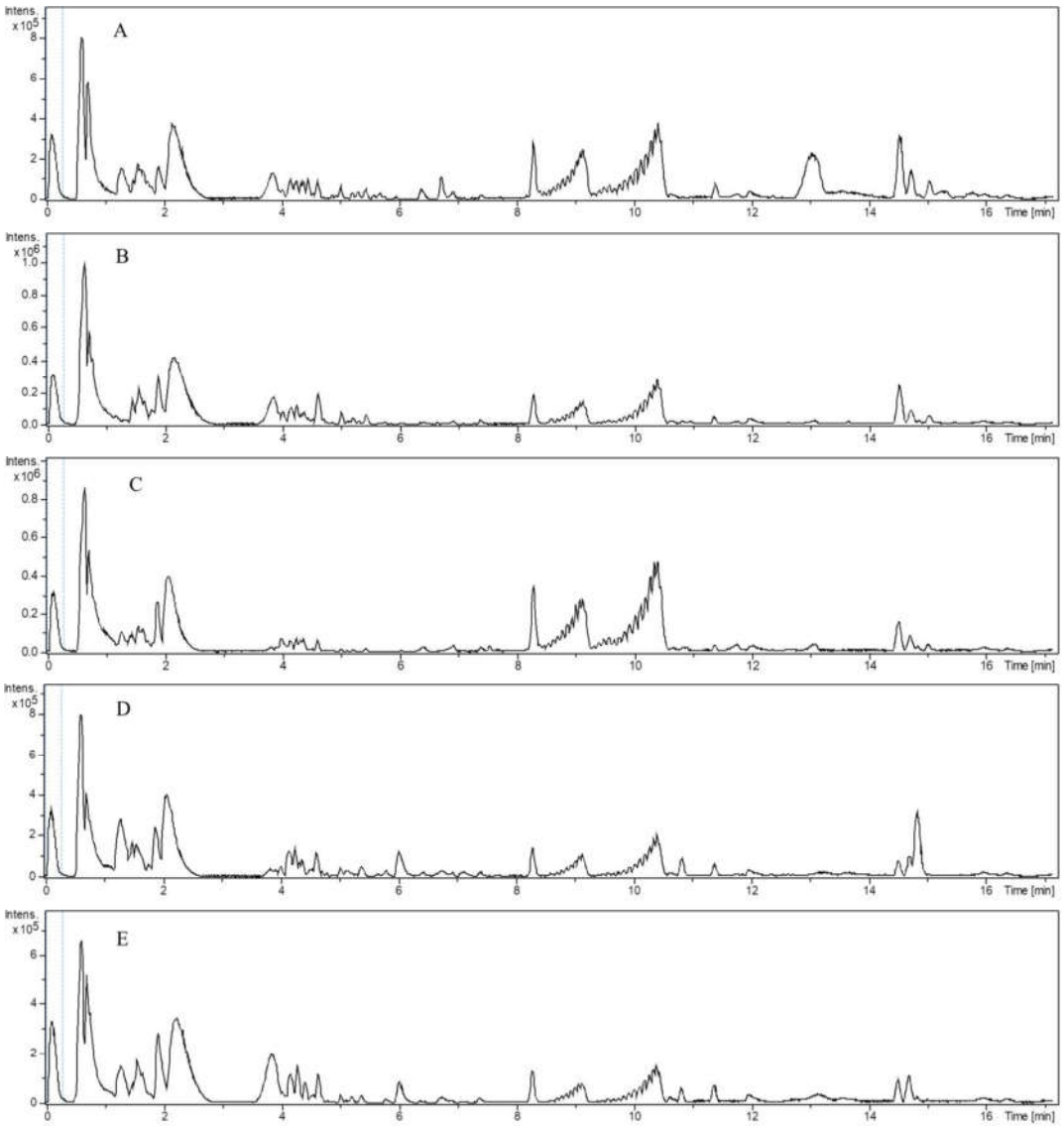
ANEXO 1. Cromatograma total das folhas de jurubeba em modo positivo do material fresco (A), e seco na velocidade do ar de 0,4 m s^{-1}, nas temperaturas de 40 °C (B), 50 °C (C), 60 °C (D) e 70 °C (E). Dourados, UFGD, 2019.



ANEXO 2. Cromatograma total das folhas de jurubeba em modo positivo do material seco na velocidade do ar de 0,8 m s^{-1}, nas temperaturas de 40 °C (F), 50 °C (G), 60 °C (H) e 70 °C (I). Dourados, UFGD, 2019.



ANEXO 3. Cromatograma total dos frutos verdes de jurubeba em modo positivo do material fresco (A), e secos nas temperaturas do ar de secagem de 40 °C (B), 50 °C (C), 60 °C (D) e 70 °C (E). Dourados, UFGD, 2019.



ANEXO 4. Cromatograma total dos frutos maduros de jurubeba em modo positivo do material fresco (A), e secos nas temperaturas de 40 °C (B), 50 °C, (C), 60 °C, (D) e 70 °C (E). Dourados, UFGD, 2019.