

Modelagem matemática e parâmetros qualitativos da secagem de folhas de capim-limão [*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf]

MARTINAZZO A.P.¹; MELO E.C.²; CORRÊA P.C.²; SANTOS R.H.S.³

¹Escola de Engenharia de Volta Redonda, Universidade Federal Fluminense, Avenida dos Trabalhadores, 420, Vila Santa Cecília, CEP: 27.255-125, Volta Redonda-Brasil *anamartinazzo@metal.eeimvr.uff.br ²Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola ³Departamento de Fitotecnia, Avenida P.H. Rolfs, s/n, CEP: 36.570-000, Viçosa-Brasil

RESUMO: A espécie *Cymbopogon citratus*, conhecida como capim-limão, é amplamente utilizada popularmente para fins medicinais e tem o uso nas indústrias farmacêuticas, alimentícias, de cosméticos e perfumaria. Devido à necessidade de conhecimentos específicos na área de pré-processamento, o presente trabalho tem a finalidade de equacionar e analisar alguns aspectos da secagem, que permitam prever as alterações na qualidade do produto. Folhas da referida espécie foram submetidas a cortes em diferentes comprimentos e à secagem em diferentes temperaturas. Aos dados experimentais, ajustaram-se diferentes equações para a modelagem das curvas de secagem. Realizaram-se também avaliações do produto seco, referentes à cor e ao teor do óleo essencial. Os resultados evidenciam que o modelo de Page Modificado é o que melhor se ajusta aos dados experimentais. A temperatura de 50°C mostrou-se a mais indicada para a secagem da espécie, resultando em produto com menor perda do óleo essencial e maior preservação da cor verde.

Palavras-chave: planta medicinal, óleo essencial, temperatura, cor

ABSTRACT: Mathematical modeling and quality parameters of lemon grass [*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf] leaf drying. The species *Cymbopogon citratus*, known as lemon grass, is widely used for medicinal purpose and in the pharmaceutical, food, cosmetic and perfumery industries. Due to the need for more specific knowledge of pre-processing management, this work aims to equate and analyze some drying aspects that allow preview the product quality alterations. The leaves from this species were cut at different lengths and dried at different temperatures. Different equations for modeling the drying curves were adjusted to the experimental data. The dried product was also evaluated for color and essential oil content. The results showed that the Modified Page model resulted in the best adjustment for the experimental data. The temperature of 50°C was the best for drying the species leaves, resulting in less essential oil loss and higher green color maintenance.

Key words: medicinal plant, essential oil, temperature, color

INTRODUÇÃO

A espécie *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf é amplamente utilizada para fins medicinais, sobretudo na forma de chá e tem o uso e aplicação nas indústrias farmacêuticas, alimentícias, de cosméticos e perfumaria, devido ao óleo essencial, cujo principal componente é o citral, uma mistura dos isômeros neral (*cis*-citral) e geranial (*trans*-citral). Com o uso das folhas já foram constatadas atividades

sedativa, depressora do sistema nervoso central, analgésica, antimicrobiana e fungistática (Lorenzetti et al., 1991; Mishra & Dubey, 1994; Lewinsohn et al., 1998; Viana et al., 2000).

A secagem é o processo comercial mais utilizado para a preservação da qualidade dos produtos agrícolas. Consiste na remoção de grande parte de água inicialmente contida no produto logo após a

maturidade fisiológica, a um nível máximo de teor de água no qual possa ser armazenado por longos períodos, sem que ocorram perdas significativas. Na secagem de plantas, conforme a espécie, as partes frescas colhidas devem ser preparadas para o processo, visando aumentar a eficiência. Para a fáfia (*Pfaffia paniculata*) e a batata-de-purga (*Operculina macrocarpa*), cortam-se as peças para reduzir o tempo de secagem. No caso da alcachofra, separa-se a nervura central do limbo foliar. Em espécies forrageiras, é comum a redução do tamanho das folhas visando melhorar a eficiência do processo de secagem (Barr et al., 1995; Lorenzi & Matos, 2002).

A secagem com ar aquecido e com baixa umidade relativa é a técnica mais utilizada em diversas regiões de clima úmido e chuvoso. O aquecimento do ar pode ser realizado em secadores ou estufas. O tempo de secagem nesses equipamentos é de poucas horas, originando um material de melhor qualidade, sendo recomendado para produções em grande escala. Os limites de temperatura do ar de secagem são determinados em função da sensibilidade dos compostos químicos presentes nas plantas e das estruturas armazenadoras. Os modelos de secadores comumente utilizados são os de bandejas, de túnel e com fita transportadora (Alonso, 1998; Muñoz, 2002).

Estudos de sistemas de secagem, dimensionamento, otimização e determinação da viabilidade da aplicação comercial podem ser feitos por simulação matemática. Para a simulação, cujo princípio se fundamenta na secagem de sucessivas camadas delgadas do produto, utiliza-se um modelo matemático que represente satisfatoriamente a perda de água do produto durante o processo de secagem. A secagem em camada delgada é definida como aquela com a espessura de apenas uma unidade do produto. A equação de secagem em camada delgada, combinada com as equações representativas de outras propriedades físicas específicas do produto em estudo, forma um conjunto de relações matemáticas que auxiliam nos cálculos e no entendimento dos processos de secagem em camada espessa. Considera-se que camada espessa seja constituída de sucessão de camadas delgadas superpostas (Brooker, 1992; Berbert et al., 1995).

Tendo em vista o promissor mercado de plantas medicinais, aromáticas e condimentares e a necessidade de conhecimentos específicos na área de engenharia de pré-processamento nesse setor, desenvolveu-se o presente trabalho com o objetivo de avaliar alguns aspectos da secagem de capim-limão [*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf], observando-se as alterações na qualidade do produto. Especificamente, objetivou-se obter as curvas de secagem em função da temperatura do ar de secagem e comprimento das folhas e avaliar o efeito

da secagem sobre o teor de óleo essencial e a cor verde das folhas.

MATERIAL E MÉTODO

Material Vegetal

A espécie vegetal utilizada [*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf] para experimentação foi cultivada na Área Experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa-UFV. A planta foi identificada pelo botânico T.S. Filgueiras, cuja exsiccata está depositada no Herbário da UFV - Viçosa/MG, com o número VIC 15.127.

Secagem

Nos testes de secagem foram utilizadas folhas de plantas com seis meses de idade, cultivadas em área experimental e colhidas manualmente. Após a colheita, antes de se iniciarem os ensaios de secagem, o material foi transportado para local apropriado, onde as folhas foram selecionadas, retirando-se as partes doentes e danificadas, assim como qualquer parte de outro vegetal ou material estranho. Após a seleção, as folhas foram submetidas a cortes transversais em diferentes comprimentos: 2, 5, 20 e 30 cm.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, no esquema de parcelas subdivididas, com três repetições. As parcelas foram constituídas pelos quatro níveis de temperatura do ar de secagem (30, 40, 50 e 60°C) e as subparcelas pelos quatro comprimentos de corte da folha (2, 5, 20 e 30 cm).

A secagem foi realizada em secador de bandejas a gás. A temperatura e a umidade relativa do ar ambiente foram medidas e monitoradas por psicrômetro. A temperatura do ar de secagem foi medida por termômetro instalado no secador. Calculou-se umidade relativa do ar secante por meio do programa computacional GRAPSI 5.1®, desenvolvido a partir de equações psicrométricas.

Durante os testes de secagem foram realizadas pesagens periódicas, até se atingir o teor de água final de 0,11 b.s., a partir do valor inicial de 3,62 b.s. O teor de água das amostras foi determinado pelo método gravimétrico recomendado pela ASAE (2000), para forrageiras e plantas similares, utilizando-se 25 g de produto, em três repetições, em estufa com circulação forçada de ar a $103 \pm 2^\circ\text{C}$, durante 24 h.

Modelagem do processo de secagem

As curvas de secagem foram ajustadas a partir dos dados experimentais utilizando-se dez diferentes modelos empíricos e semi-empíricos, comumente citados na literatura, conforme Tabela 1.

TABELA 1. Modelos de regressão não-linear utilizados para prever o fenômeno de secagem de folhas de *Cymbopogon citratus*.

Designação do modelo	Modelo	
Wang e Sing	$RU = 1 + at + bt^2$	(1)
Thompson	$RU = \exp\left[\frac{-a - (a^2 + 4bt)^{1/2}}{2b}\right]$	(2)
Lewis	$RU = \exp(-kt)$	(3)
Page	$RU = \exp(-kt^n)$	(4)
Henderson e Pabis	$RU = a \exp(-kt)$	(5)
Dois Termos	$RU = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t)$	(6)
Page Modificado	$RU = \exp[-(kt)^n]$	(7)
Exponencial Dois Termos	$RU = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	(8)
Aproximação da Difusão	$RU = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$	(9)
Henderson e Pabis Modificado	$RU = a \exp(-kt) + b \exp(-k_0t) + c \exp(-k_1t)$	(10)

Fonte: Madamba et al., 1996; Doymaz, 2004; Mohapatra & Rao, 2005.

Para o cálculo da razão de umidade (RU), durante a secagem nas diferentes condições de ar, utilizou-se a seguinte expressão:

$$RU = \frac{U - U_e}{U_i - U_e} \quad (\text{Equação 11})$$

em que:

RU - razão de umidade do produto (adimensional)

U - teor de água do produto, decimal (b.s.)

U_e - teor de água de equilíbrio do produto, decimal (b.s.)

U_i - teor de água inicial do produto, decimal (b.s.)

Determinou-se o teor de água de equilíbrio higroscópico (U_e) pela Equação 12, proposta por Corrêa et al. (2002), para plantas medicinais, com os parâmetros determinados pelo processo de dessorção.

$$U_e = \frac{1}{(aT^b + UR^c)} \quad (\text{Equação 12})$$

em que:

T - temperatura do ar (°C)

UR - umidade relativa do ar (decimal)

a, b, c - constantes que dependem da natureza do produto

Para o ajuste dos modelos matemáticos de secagem e de equilíbrio higroscópico, aos dados

experimentais, realizou-se análise de regressão não linear, pelo método Simplex e Quasi-Newton, utilizando-se o programa computacional STATISTICA 5.0®.

Para os modelos de secagem, estimaram-se os valores dos parâmetros dos modelos em função da variável independente temperatura do ar de secagem (T).

O grau de ajuste do modelo aos dados experimentais foi avaliado em função da magnitude do coeficiente de determinação (R²), da magnitude do erro médio relativo (P) e do erro médio da estimativa (SE).

O erro médio relativo (P) e o erro médio da estimativa (SE), para cada modelo, foram calculados pelas equações 13 e 14 (Madamba et al., 1996; Afonso Júnior & Corrêa, 1999; Mohapatra & Rao, 2005):

$$P = \frac{100}{n} \sum \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \quad (\text{Equação 13})$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (\text{Equação 14})$$

em que:

n = número de observações

Y = valor observado experimentalmente

Ŷ = valor estimado pelo modelo

GLR = graus de liberdade do modelo

Varição da cor verde durante a secagem

Avaliou-se a degradação da cor verde, durante o processo de secagem, nas temperaturas que resultaram num produto seco com maior rendimento do óleo essencial.

A quantificação da cor foi efetuada pela leitura direta de reflectância das coordenadas L^* , a^* , b^* , empregando a escala Cielab em colorímetro tristímulo, para o iluminante $10^\circ/D_{65}$. Para cada repetição foram realizadas leituras de três replicatas, em diferentes intervalos de tempo para cada temperatura, devido o período de secagem variar entre os tratamentos.

Determinou-se a taxa de variação da coordenada a^* (cor verde) por:

$$Tva^* = \frac{a^* - a_{eq}^*}{a_0^* - a_{eq}^*} \quad (\text{Equação 15})$$

em que:

Tva^* - taxa de variação da coordenada a^* durante a secagem

a^* - valor da coordenada a^* do produto no tempo t

a_0^* - valor da coordenada a^* do produto no tempo zero

a_{eq}^* - valor da coordenada a^* de equilíbrio do produto

Determinação do teor de óleo essencial

A extração do óleo essencial foi feita por meio de hidrodestilação, utilizando-se o aparelho de Clevenger. Utilizaram-se amostras de 20 g de folhas secas do produto. Para facilitar a extração, as folhas eram cortadas transversalmente a cada 2 cm. O tempo de extração foi de 90 min, contados a partir do momento da ebulição, o qual foi determinado por meio de testes preliminares. Os resultados foram expressos em porcentagem de óleo em relação à matéria seca do produto.

Na comparação dos grupos de médias foi realizado o teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. A escolha deu-se pelo fato do mesmo promover separação real de grupos de médias, eliminando a ambigüidade, auxiliando na discussão dos resultados e na tomada de decisões (Ferreira et al., 1999).

RESULTADO E DISCUSSÃO

Dentre os modelos avaliados, verificou-se que o de Page Modificado foi o que melhor se ajustou aos dados observados de razão de umidade. Enquanto os valores de SE e P(%) variaram entre 0,0112 a 0,1174 e 9,96 a 98,76%, respectivamente, para todos os modelos analisados, estes valores variaram entre 0,0123 a 0,0374 e 9,25 a 48%, para Page Modificado, nas diferentes condições experimentais. O modelo também apresentou elevados valores do coeficiente

de determinação (R^2), estando, para todos os tratamentos, acima de 98% o que, significa bom ajuste para representação do fenômeno de secagem. Da mesma forma Akpınar (2006), determinou o modelo de Page Modificado como o de melhor ajuste para secagem ao sol e em camada delgada de folhas de menta e manjeriço.

Os valores da constante de secagem (k) e do coeficiente (n), do modelo de Page Modificado, para as diferentes condições experimentais, estão apresentados na Tabela 2.

Pelos valores obtidos, observa-se que, para cada tamanho de corte, a constante de secagem " k " aumenta de acordo com o incremento da temperatura do ar de secagem, também é possível observar que, para a mesma temperatura, há tendência da diminuição do valor de " k " nos maiores tamanhos de corte (20 e 30 cm). Segundo Madamba et al. (1996), o coeficiente " k " está relacionado com a difusividade efetiva no processo de secagem no período decrescente e à difusão líquida que controla o processo. De acordo com Brooker et al. (1992), o valor de " k ", varia com a temperatura de secagem e umidade inicial do produto.

Para o valor de " n ", com excessão do comprimento de corte de 2 cm, os resultados evidenciaram aumento do valor deste parâmetro com o aumento da temperatura do ar de secagem, não apresentando relação com o comprimento de corte. Segundo Misra & Brooker (1980), o " n " é o parâmetro que depende do produto e das condições de secagem, refletindo a extensão da resistência interna do produto à secagem, para determinadas condições externas, explicando assim os gradientes de umidade estabelecidos dentro do produto durante o processo sob a taxa em que ocorre.

Os resultados apresentados nas Figuras 1 a 4 ilustram a ausência da fase inicial do processo de secagem em taxa constante, embora os teores de água sejam da ordem de 3,62 b.s., verifica-se que o processo de secagem ocorre com taxa decrescente, o que indica que a difusão é o principal mecanismo que governa o movimento de água nas folhas. Estes resultados estão de acordo com os trabalhos realizados na secagem de folhas de manjeriço (Rocha et al., 1993), chá preto (Panchariya et al., 2002) e menta (Doymaz, 2006).

Influência do processo de secagem no teor de óleo essencial

Pela análise de variância do efeito do comprimento de corte das folhas (c) de *C. citratus* e da temperatura do ar de secagem (T) no teor de óleo essencial, observou-se que a interação ($T \times c$) foi não significativa ($p > 0,05$), ou seja, os fatores comprimento de corte e temperatura do ar de secagem atuam independentemente sobre o rendimento do óleo

TABELA 2. Coeficientes do modelo de Page Modificado obtidos nos diferentes tratamentos de secagem de folhas de *Cymbopogon citratus*.

Comprimento de corte da folha (cm)	Temperatura do ar de secagem (°C)	Coeficientes do Modelo	
		k	n
2	30	0,0021	1,0083
	40	0,0069	1,1081
	50	0,0083	1,2962
	60	0,0154	1,0841
5	30	0,0015	0,9738
	40	0,0047	1,0790
	50	0,0068	1,1231
	60	0,0130	1,1534
20	30	0,0009	0,9764
	40	0,0029	1,1291
	50	0,0051	1,2435
	60	0,0086	1,4084
30	30	0,0009	0,9720
	40	0,0034	1,0085
	50	0,0061	1,1902
	60	0,0099	1,2990

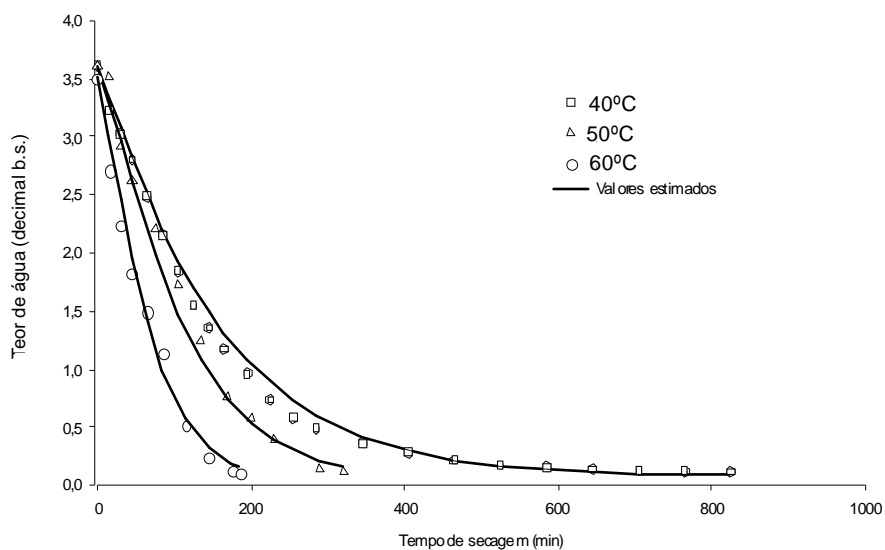


FIGURA 1. Teor de água observado e estimado pelo modelo de Page Modificado na secagem de folhas de *Cymbopogon citratus* para o comprimento de corte de 2 cm.

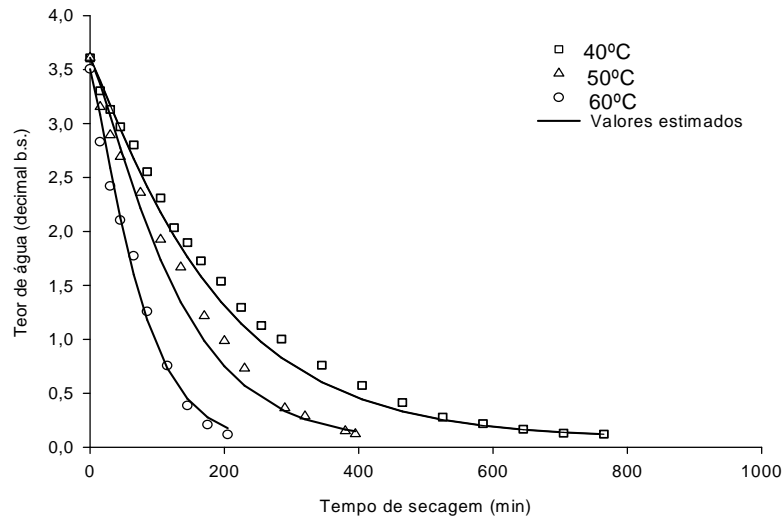


FIGURA 2. Teor de água observado e estimado pelo modelo de Page Modificado na secagem de folhas de *Cymbopogon citratus* para o comprimento de corte de 5 cm.

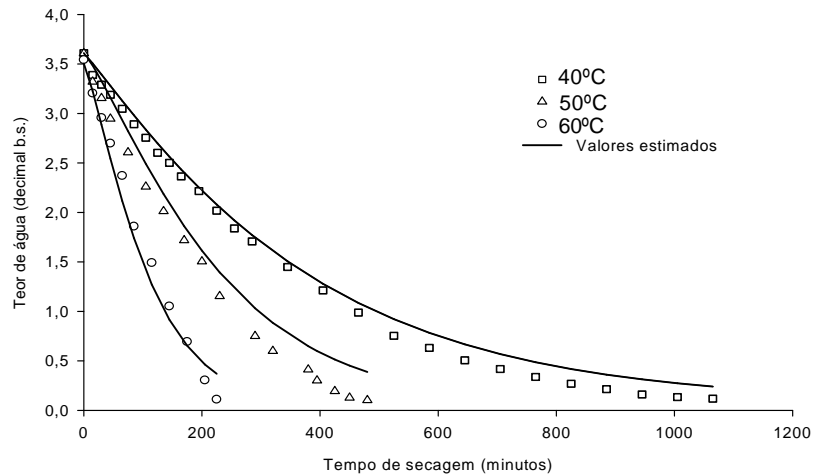


FIGURA 3. Teor de água observado e estimado pelo modelo de Page Modificado na secagem de folhas de *Cymbopogon citratus* para o comprimento de corte de 20 cm.

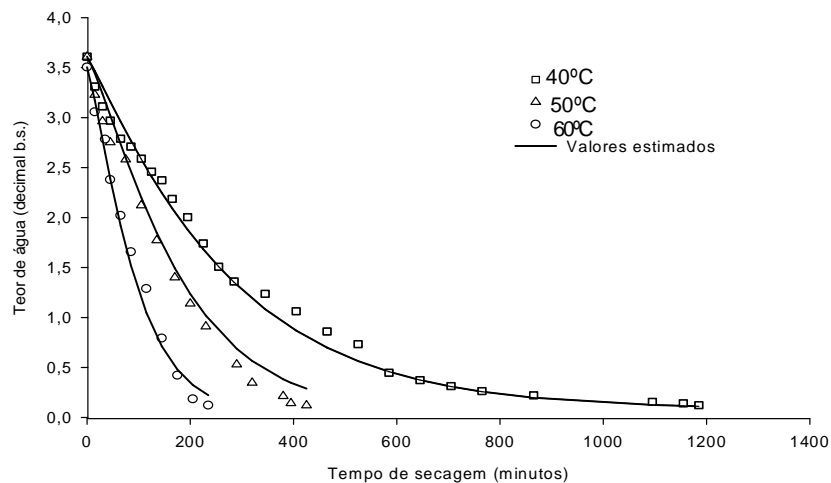


FIGURA 4. Teor de água observado e estimado pelo modelo de Page Modificado na secagem de folhas de *Cymbopogon citratus* para o comprimento de corte de 30 cm.

essencial. Tendo em vista os resultados obtidos na análise de variância, passou-se para a análise de cada fator separadamente.

A análise do efeito do comprimento de corte sobre teor de óleo essencial foi realizada por meio de regressão, verificou-se que o modelo hiperbólico foi o mais adequado para explicar a variação no teor de óleo em função do comprimento de corte das folhas (Figura 5).

Observa-se redução do teor de óleo com o aumento do comprimento de corte das folhas. Segundo Barr (1995), alterações mecânicas causadas no tecido vegetal, como redução do tamanho do material a ser seco, aumenta a taxa de secagem pela ruptura das células, facilitando o movimento de água e aumentando a superfície de evaporação o que proporciona maior uniformização e

rapidez na secagem, possibilitando menores perdas dos constituintes por meio da respiração do produto e das atividades enzimáticas.

Para o efeito do fator temperatura do ar de secagem sobre teor de óleo essencial, não foi possível o ajuste satisfatório de uma equação de regressão ($p > 0,05$), desta forma, a análise do efeito de temperatura foi realizada por meio de teste de médias.

Pela Figura 6, nota-se que as temperaturas de 40 e 50°C foram as que apresentaram maior rendimento do óleo essencial. Possivelmente na temperatura de 30°C os valores foram menores, devido ao maior tempo no processo de secagem, o que possibilita a continuidade da atividade metabólica da planta e a degradação do óleo essencial. Já na temperatura de 60°C, o menor rendimento está, possivelmente, ligado à volatilização do óleo durante

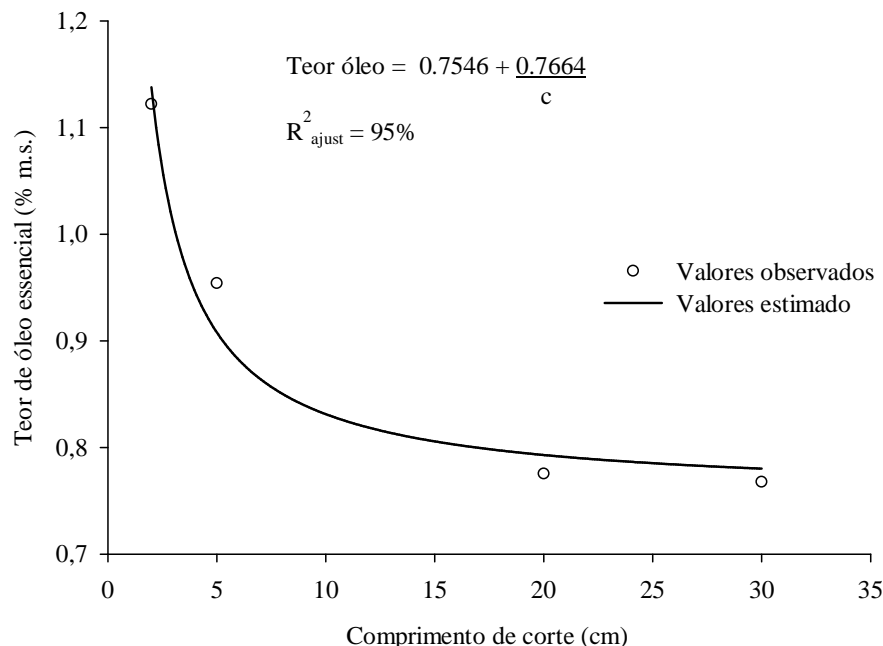


FIGURA 5. Rendimento de óleo essencial obtido na secagem de folhas de *Cymbopogon citratus* em função do comprimento de corte.

a secagem. Segundo Simões e Spitzer (2003), a principal característica dos óleos essenciais é a volatilidade. Em geral não são estáveis, principalmente na presença de fatores como ar, luz, umidade, metais e calor. Buglle et al. (1999), avaliando a influência de diferentes temperaturas de secagem (30, 50, 70 e 90°C) em folhas do *Cymbopogon citratus*, observaram que o maior rendimento do óleo essencial ocorreu nas temperaturas de 30 e 50°C, as quais não apresentaram diferença significativa entre si, porém, na temperatura de 30°C, notou-se o desenvolvimento de fungos. Nas temperaturas de 70 e 90°C, houve decréscimo significativo na quantidade de óleo essencial.

Tempo de secagem

A análise de variância do efeito do comprimento de corte das folhas (c) e da temperatura do ar (T) no tempo de secagem do produto (t) mostrou que houve diferença significativa para as diferentes temperaturas do ar de secagem, para o comprimento de corte, assim como para a interação (T x c) ($p < 0,05$), indicando que a variação do valor do tempo de secagem depende da interação entre o comprimento da folha e a temperatura de secagem.

As Figuras 7 e 8, seguidas das Tabelas 3 e 4, apresentam as análises de regressão referente ao tempo de secagem necessário, em cada tratamento, para se chegar ao teor de água final estipulado de

aproximadamente 0,11 b.s.

Pelas Figuras 7 e 8, observa-se que o tempo necessário para realizar a secagem diminuiu com a redução do tamanho das folhas. O corte possibilitou melhor evaporação da água por promover maior superfície de contato do produto com o ar de secagem e também por ter facilitado o movimento no sentido longitudinal já que as folhas, na constituição apresentam cutícula lisa constituída por grupos de células lignificadas e tricomas tectores que revestem a epiderme, desempenham proteção mecânica e evitam transpirações excessivas, dificultando a saída da água no processo de secagem.

Ainda pelas Figuras citadas acima, verifica-se que a magnitude do efeito do comprimento de corte das folhas na redução do tempo de secagem depende da temperatura do ar de secagem. Para temperaturas mais elevadas (50 e 60°C) observou-se pequeno efeito do comprimento de corte das folhas sobre o tempo de secagem. Esta observação coincide com Madamba et al. (1996), que em estudo realizado sobre a secagem de fatias de alho em diferentes espessuras (2 a 4 mm) e a diferentes temperaturas, relataram ser o aumento da temperatura, o fator de maior influência na aceleração do processo.

A escolha da melhor prática a ser adotada

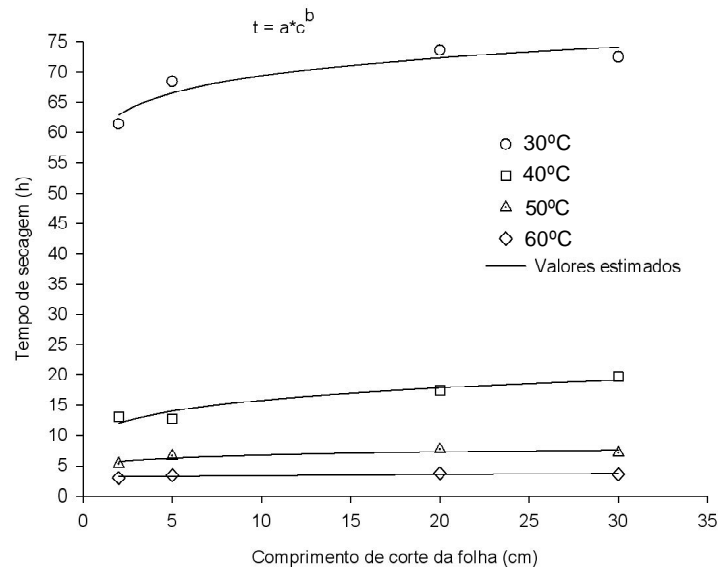


FIGURA 7. Tempo de secagem (h) de folhas de *Cymbopogon citratus* em função do comprimento de corte (cm), para diferentes temperaturas.

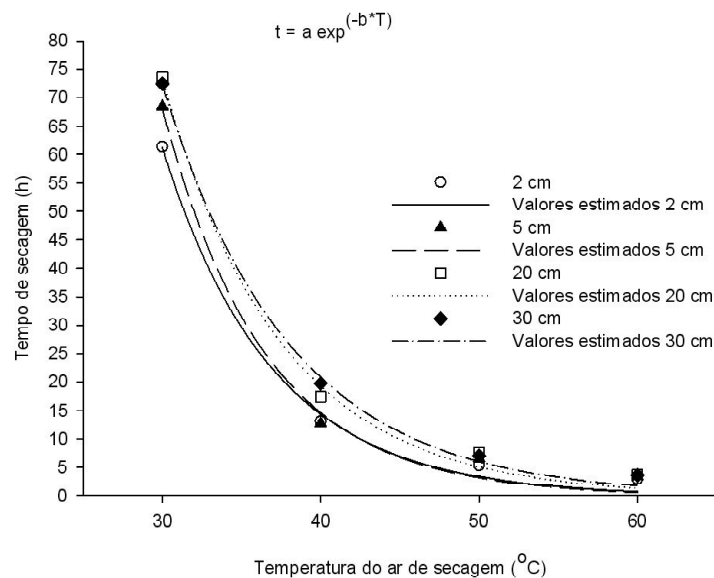


FIGURA 8. Tempo de secagem (h) de folhas de *Cymbopogon citratus* em função da temperatura do ar de secagem (°C), para diferentes comprimentos de corte (cm).

para a espécie em estudo dependeria de análise econômica, já que para se atingir temperatura mais elevada exige-se maior consumo de combustível do secador, assim como, para a redução do tamanho das folhas exigiria mão-de-obra e/ou equipamento para o corte. Durante a operação de corte das folhas no tamanho de 2 cm, manualmente, com tesoura de poda, fez-se o monitoramento da produtividade de pessoas saudáveis de idade média de 28 anos. Observou-se que em 1 hora, uma pessoa do sexo feminino cortava em média 1,44 kg, enquanto do sexo masculino cortava 2,02 kg. Segundo Castro & Ramos (2003), a produtividade de 10000 kg ha⁻¹ de planta verde é normal na primeira colheita, reduzindo-se nas demais. Desta forma, percebe-se a necessidade da adaptação de equipamentos para redução do tamanho das folhas, tendo em vista que o trabalho realizado manualmente demandaria muita mão de obra e tempo.

TABELA 3. Coeficientes da equação de regressão (modelo potencial) para tempo de secagem (h) de folhas de *Cymbopogon citratus* em função do comprimento de corte (cm), para diferentes temperaturas do ar de secagem.

Temperatura de secagem (°C)	Coeficientes		
	a	b	R ² _{ajust} (%)
30	63,3407	0,0606	83,32
40	10,6451	0,1720	85,26
50	5,2674	0,1054	67,95
60	2,9392	0,0698	70,57

TABELA 4. Coeficientes da equação de regressão (modelo exponencial) para tempo de secagem (h) de folhas de *Cymbopogon citratus* função da temperatura do ar de secagem (°C), para diferentes comprimentos de corte (cm).

Comprimento de corte da folha (cm)	Coeficientes		
	a	b	R ² _{ajust} (%)
2	4741,3613	0,1450	99,32
5	6947,8992	0,1541	98,78
20	4043,3104	0,1336	99,24
30	3029,4730	0,1245	99,72

Influência do processo de secagem na cor verde das folhas

Na Figura 9 apresentam-se os dados observados e estimados de razão de umidade e da taxa de degradação da cor verde (coordenada a*).

Pode-se constatar a influência da temperatura na razão de umidade (RU) e na taxa de variação da cor verde (Tva*) do produto.

Na Tabela 5 apresentam-se as equações ajustadas aos valores observados de Tva* e de RU durante o processo de secagem.

Nota-se que os valores referentes à taxa de degradação da cor verde na secagem do *C. citratus* ajustaram-se ao modelo cinético de primeira ordem. Tais resultados estão de acordo com estudos realizados em tratamentos térmicos com pimenta verde (Ahmed et al., 2002) e pera (Ibarz, 1999).

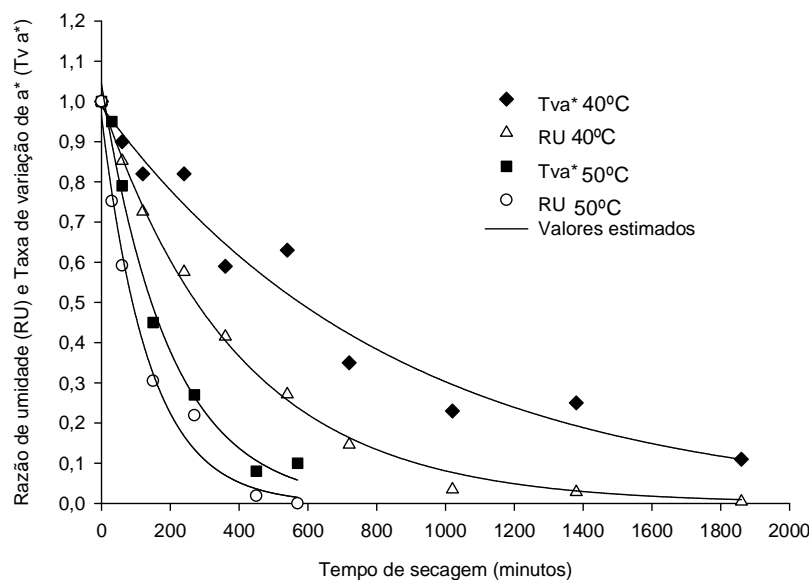


FIGURA 9. Valores estimados e observados de razão de umidade (RU) e taxa de variação da coordenada a* (Tva*) durante a secagem de *Cymbopogon citratus* em diferentes temperaturas.

Segundo Schwartz & Von Elbe (1983), a decomposição da clorofila pela exposição ao calor segue a reação cinética de primeira ordem, de tal forma que a mudança na coloração de vegetais verdes segue o mesmo modelo.

Utilizando-se as equações de Tva^* apresentadas Tabela 5, estimou-se os valores da coordenada a^* , as quais são apresentados na Figura 10.

Na Figura 8 é possível perceber o aumento do valor da coordenada a^* durante o processo de secagem, indicando a perda da cor verde. Tendo ocorrido maior variação na temperatura de 50°C, apesar de ser considerada, dentro da escala colorimétrica, pequena a diferença entre os valores finais obtidos nos tratamentos. Maskan (2001) observou aumento no valor de a^* durante a secagem de kiwi na secagem em microondas. Ibarz et al.

(1999), em estudo realizado com tratamento térmico de purê de pêra, constataram que os valores do parâmetro a^* aumentaram de acordo com o aumento das diferentes temperaturas avaliadas.

CONCLUSÃO

Tendo em vista os objetivos propostos no presente trabalho e os resultados obtidos, pode-se concluir que:

- O modelo de Page modificado foi o que melhor se ajustou aos dados observados para descrição da cinética de secagem da espécie *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf.

- O tempo de secagem reduziu de forma mais expressiva com o aumento da temperatura do ar de secagem do que com a diminuição do comprimento das folhas.

TABELA 5. Modelos ajustados aos valores observados de taxa de variação da coordenada a^* (Tva^*) e de razão de umidade (RU) em função do tempo (t) durante a secagem de folhas de *Cymbopogon citratus* em diferentes temperaturas.

Temperatura do ar de secagem (°C)	Parâmetro avaliado	Modelo ajustado	R^2_{ajust} (%)
40°C	Tva^*	$Tva^* = 0,9880 \exp^{-0,0012 \cdot t}$	95,60
	RU	$RU = 1,002 \exp^{-0,0025 \cdot t}$	99,67
50°C	Tva^*	$Tva^* = 1,0437 \exp^{-0,0051 \cdot t}$	98,82
	RU	$RU = 0,9650 \exp^{-0,0073 \cdot t}$	98,51

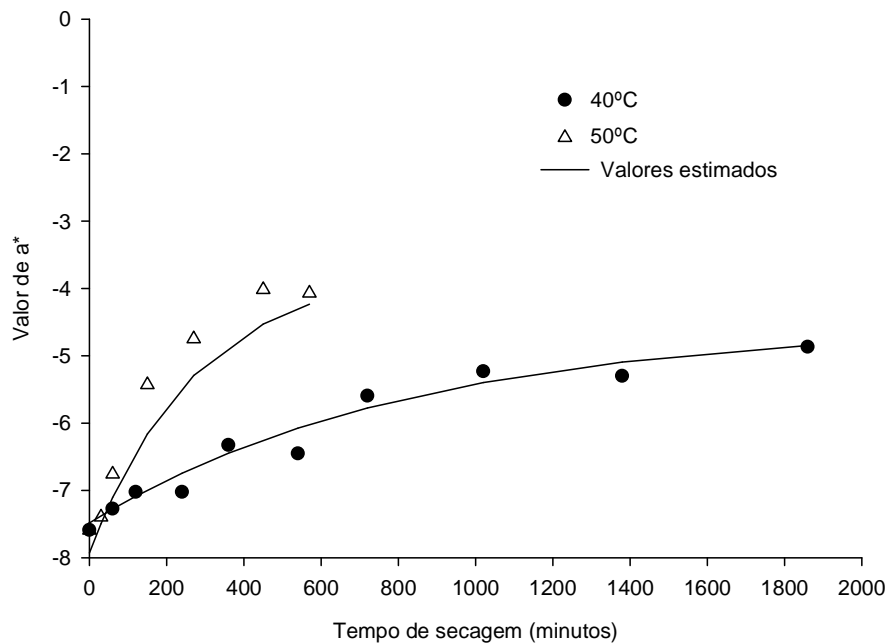


FIGURA 10. Valor da coordenada a^* durante a secagem de folhas de *Cymbopogon citratus* em diferentes temperaturas do ar.

- A temperatura do ar de secagem de 50°C e a redução do comprimento de corte da folha em 2 cm, resultaram em um produto com maior rendimento de óleo essencial.

- A redução da cor verde do produto durante a secagem, não foi considerada significativa a ponto de interferir na comercialização do mesmo.

REFERÊNCIA

- AFONSO JÚNIOR, P.C.; CORRÊA, P.C. Comparação de modelos matemáticos para descrição da cinética de secagem em camada fina de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.3, n.3, p.349-53, 1999.
- AHMED, J.; SHIVHARE, U.S.; DEBNATH, S. Colour degradation and rheology of green chilli puree during thermal processing. **International Journal of Food Science and Technology**, v.37, p.57-63, 2002.
- AKPINAR, E.K. Mathematical modeling of thin layer drying process under open sun of some aromatic plants. **Journal of Food Engineering**, v.77, n.4, p.864-70, 2006.
- ALONSO, J.R. **Tratado de fitomedicina: bases clínicas y farmacológicas**. Buenos Aires: Isis Ediciones S.R.L., 1998. 1040p.
- ASAE STANDARDS. **Standards engineering practices data**. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 2000. 78p.
- BARR, A.G.; SMITH, D.M.; BROWN, D.M. Estimating forage yield and quality changes during field drying for hay. Model of dry-matter and quality losses. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.76, p.83-105, 1995.
- BERBERT, P.A. et al. Simulation of coffee drying in a fixed bed with periodic airflow reversal. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.60, n.3, p.167-73, 1995.
- BROOKER, D.B.; BAKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. New York: AVI Book Publisher, 1992. 450p.
- BUGGLE, V. et al. Influence of different drying temperatures on the amount of essential oils and citral content in *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf. **Acta Horticulturae**, n.500, p.71-4, 1999.
- CASTRO, L.O.; RAMOS, R.L.D. **Principais gramíneas produtoras de óleos essenciais**. Porto Alegre: Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária, 2003. 28p. (FEPAGRO. Boletim, 11).
- CORRÊA, P.C. et al. Modelo matemático para representação da higroscopicidade de plantas medicinais. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v.27, n.1, p.9-13, 2002.
- DOYMAZ, I. Drying kinetics of white mulberry. **Journal of Food Engineering**, v.61, p.341-6, 2004.
- DOYMAZ, I. Thin-layer drying behavior of mint leaves. **Journal of Food Engineering**, v.74, n.3, p.370-5, 2006.
- FERREIRA, D.F.; MUNIZ, J.A.; AQUINO, L.H. Comparações múltiplas em experimentos com grande número de tratamentos - utilização do teste de Scott Knott. **Ciência e Agrotecnologia**, v.23, n.3, p.745-52, 1999.
- IBARZ, A.; PAGÁN, J.; GARZA, S. Kinetic models for color changes in pear puree during heating at relatively high temperatures. **Journal of Food Engineering**, v.39, p.415-22, 1999.
- LEWINSOHN, E. et al. Histochemical localization of citral accumulation in lemongrass leaves (*Cymbopogon citratus* (D.C.) Staff. *Poaceae*). **Annals of Botany**, v.81, p.35-9, 1998.
- LORENZETTI, B.B. et al. Myrcene mimics the peripheral analgesic activity of lemon grass tea. **Journal of Ethnopharmacology**, v.34, n.1, p.43-8, 1991.
- LORENZI, H.; MATOS, F.J.A. **Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002. 511p.
- MADAMBA, P.S.; DRISCOLL, R.H.; BUCKLE, K.A. Thin layer drying characteristics of garlic slices. **Journal of Food Engineering**, v.29, p.75-97, 1996.
- MASKAN, M. Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. **Journal of Food Engineering**, v.48, p.169-75, 2001.
- MISHRA, A.K.; DUBEY, N.K. Evaluation of some essential oils for their toxicity against fungi causing deterioration of stored food commodities. **Applied Environmental Microbiology**, v.60, n.4, p.1101-5, 1994.
- MISRA, M.K.; BROOKER, D.B. Thin-layer drying and rewetting equation for shelled yellow corn. **Transactions of the ASAE**, v.23, n.5, p.1254-60, 1980.
- MOHAPATRA, D.; RAO, P.S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, v.66, n.4, p.513-8, 2005.
- MUÑOZ, F. **Plantas medicinales y aromáticas: estudio, cultivo y procesado**. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 2002. 365p.
- PANCHARIYA, P.C.; POPOVIC, D.; SHARMA, A.L. Thin-layer modeling of black tea drying process. **Journal of Food Engineering**, v.52, n.4, p.349-57, 2002.
- ROCHA, T.; LEBERT, A.; MARTY-AUDOUIN, C. Effect of pretreatments drying conditions on drying rate and colour retention of basil (*Ocimum basilicum*). **Lebensm-Wiss u-Technology**, v.26, p.456-63, 1993.
- SCHWARTZ, S.J.; VON ELBE, J.H. Kinetics of chlorophyll degradation to pyropheophytin in vegetables. **Journal of Food Science**, v.48, n.130, p.1303-6, 1983.
- SIMÕES, C.M.O.; SPITZER, V. **Óleos voláteis**. In: SIMÕES, C.M.O. et al. **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. 5.ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS; Florianópolis: Editora da UFSC, 2003. p.467-95.
- VIANA, G.S. et al. Antinociceptive effect of the essential oil from *Cymbopogon citratus* in mice. **Journal of Ethnopharmacology**, v.70, n.3, p.323-7, 2000.