

PAULA MELO MARTINS

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E DA VELOCIDADE DO AR DE SECAGEM
NO TEOR E DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO ÓLEO ESSENCIAL DE CAPIM-
LIMÃO (*Cymbopogon citratus* (D.C.) STAPF.)

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
JULHO - 2000

PAULA MELO MARTINS

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E DA VELOCIDADE DO AR DE SECAGEM NO
TEOR E DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO ÓLEO ESSENCIAL DE CAPIM-LIMÃO
(*Cymbopogon citratus* (D.C.) STAPF.)

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

APROVADA: 11 de fevereiro de 2000.

Prof. Paulo César Corrêa
(Conselheiro)

Prof. Luiz Cláudio de Almeida Barbosa
(Conselheiro)

Prof. Vicente Wagner Dias Casali

Prof. Pedro Amorim Berbert

Prof. Evandro de Castro Melo
(Orientador)

Àqueles que não deixaram de acreditar em seus sonhos,
sempre confiantes na justiça divina e na boa vontade dos homens.

AGRADECIMENTO

A Deus, pela coragem e força constantes, imprescindíveis para a realização deste trabalho.

À Natureza, fonte inspiradora dos grandes questionamentos da humanidade.

Aos meus pais e ao meu irmão, pelos votos de confiança.

Ao meu filho Antero, pela compreensão das longas horas de minha ausência.

À Universidade Federal de Viçosa, à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação e ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudo.

Ao professor e orientador Evandro de Castro Melo, por acreditar no trabalho, não mensurando esforços para sua realização.

Aos professores conselheiros Paulo César Corrêa, Ricardo Henrique Silva Santos e Luiz Cláudio Almeida Barbosa, pela confiança e pelas valiosas sugestões.

Ao pesquisador Dr. Pedro Amorim Berbert, pela grande contribuição e clareza nas abordagens preliminares que fundamentaram este estudo.

Ao professor Paulo César Cecon, pelo auxílio valioso no desenvolvimento das análises estatísticas.

Ao professor Evandro Nascimento, da Universidade Federal de Uberlândia, pela disponibilidade em auxiliar nas análises qualitativas em CG/EM.

Aos funcionários da Área de Armazenamento, Silas, Sebastião Jorge (Catitu), Antônio Pedro (Inhame), Edson, José Eustáquio, José Tomé Gomes e José Pequeno, pelo auxílio constante, contribuindo para a execução dos experimentos.

Ao Srs. Antônio e Ricardo, funcionários do LASA – Laboratório de Análise e Síntese de Agroquímicos, pelo apoio constante, assim como a todos os colegas deste laboratório.

Ao colega e amigo Paulo César Afonso Júnior, pela paciência e pelo acompanhamento durante os momentos de dificuldade na realização dos experimentos.

Ao amigo Ramalho José Barbosa Rodrigues, pelo incentivo e pela grande ajuda na organização dos dados que geraram este trabalho.

Aos estudantes de graduação Ricardo Petrillo Sampaio e Reginaldo dos Santos, assim como Adriana De Grandi, doutoranda em Secagem de Plantas Mediciniais, pela atuação direta na condução dos experimentos de secagem.

Aos amigos Marise, Eunice, Vânia, Simone, Priscila, Tereza, Marcão, Edimar, Emílio (Negão) e Pablo, que tantos momentos felizes e agradáveis puderam me proporcionar.

A todos os demais professores, colegas e funcionários que, direta ou indiretamente, participaram da realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

PAULA MELO MARTINS, filha de José Carlos Martins e Edmaura Melo Martins, nasceu em Belo Horizonte, MG, no dia 16 de janeiro de 1971.

No período de fevereiro de 1992 a fevereiro de 1994, atuou como bolsista de iniciação científica do CNPq, na área de Fitoquímica de Plantas Mediciniais, na Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Minas Gerais.

Em julho de 1994, graduou-se em Farmácia – Bacharelado pela Universidade Federal de Minas Gerais.

No período de 1995 a 1997, atuou como produtora de plantas medicinais e aromáticas, recebendo auxílio técnico do Departamento de Engenharia Agrícola, na área de pré-processamento.

Em março de 1998, iniciou o Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, área de Pré-Processamento de Produtos Agrícolas, na Universidade Federal de Viçosa, concentrando seus estudos em Secagem de Plantas Mediciniais e Aromáticas.

Em 11 de fevereiro de 2000, submeteu-se à defesa de tese para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

CONTEÚDO

	Página
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	ix
EXTRATO.....	x
ABSTRACT.....	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Importância das plantas medicinais.....	3
2.2. Considerações sobre o capim-limão (<i>Cymbopogon citratus</i> (D.C) Stapf)...	4
2.3. Secagem de plantas medicinais e aromáticas.....	6
2.4. Importância econômica e industrial dos óleos essenciais.....	9
2.5. Composição química do óleo essencial de capim-limão (<i>Cymbopogon citratus</i> (D.C) Stapf.).....	11
2.6. Biossíntese dos componentes de óleos essenciais e rota biossintética do citral.....	13
CAPÍTULO 1.....	16
SECAGEM DO CAPIM-LIMÃO A 40, 50 E 60 °C COM DUAS VELOCIDADES DO AR DE SECAGEM: 0,5 m.s ⁻¹ E 1,0 m.s ⁻¹	16
1. INTRODUÇÃO.....	16
2. MATERIAL E MÉTODOS	18
2.1. Local.....	18

	Página
2.2. Material.....	18
2.3. Colheita.....	18
2.4. Seleção, determinação do teor de umidade e acondicionamento	19
2.5. Experimento de secagem	20
2.5.1. Secador	20
2.5.2. Instrumentação	22
2.6. Delineamento experimental	22
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
3.1. Curvas de secagem.....	23
3.2. Efeito da temperatura do ar no tempo de secagem do capim-limão.....	26
3.2.1. A teoria da cinética de Arrhenius na avaliação do efeito da temperatura na secagem de capim-limão.....	28
3.3. Efeito da velocidade do ar no processo de secagem das folhas de capim-limão	30
4. RESUMO E CONCLUSÕES.....	34
CAPÍTULO 2.....	35
AVALIAÇÃO DO TEOR E DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO ÓLEO ESSENCIAL DE CAPIM-LIMÃO SUBMETIDOS À SECAGEM EM CAMADA DELGADA.....	35
1. INTRODUÇÃO.....	35
2. MATERIAL E MÉTODOS	37
2.1. Experimento de secagem	37
2.2. Extração do óleo essencial	37
2.3. Análise qualitativa do óleo	38
2.4. Determinação do teor de citral no óleo essencial	40
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
3.1. Extração do óleo essencial e seu rendimento	41
3.2. Análise qualitativa.....	44
3.3. Determinação do teor de citral no óleo essencial de capim-limão	50
4. RESUMO E CONCLUSÕES.....	54

3. RESUMO E CONCLUSÕES.....	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
APÊNDICE	64

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

b.s. – base seca

CG – cromatografia em fase gasosa

EM – espectrometria de massa

μL – microlitro

Pa – Pascal

eV – elétron-volt

Da – dalton

ppm – parte por milhão

FID – flame ionization detector (detector de ionização de chama)

EXTRATO

MARTINS, Paula Melo, M.S., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2000.
Influência da temperatura e da velocidade do ar de secagem no teor e composição química do óleo essencial de capim-limão. Orientador: Evandro de Castro Melo. Conselheiros: Luiz Cláudio de Almeida Barbosa e Ricardo Henrique Silva Santos.

Com o objetivo de avaliar a influência da temperatura e da velocidade do ar de secagem sobre o rendimento em óleo essencial e sua composição química nas folhas da espécie medicinal capim-limão (*Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf), utilizou-se um secador de leito fixo com quatro câmaras de secagem, sistema de aquecimento do ar por meio de resistências elétricas e velocidade do ar controlada manualmente por meio de diafragma anterior ao ventilador. Analisaram-se três temperaturas do ar de secagem (40, 50 e 60 °C), combinadas com duas velocidades de ar (0,5 e 1,0 m.s⁻¹), em bloco inteiramente casualizado, adotando-se esquema fatorial (3 x 2) com quatro repetições, utilizando 225,0 g do produto picado em cada bandeja da câmara de secagem. Cada parcela dos tratamentos de secagem foi submetida à extração de óleo essencial por meio de destilação a vapor em aparelho Clevenger, utilizando-se 20,0 g do produto seco em três repetições, para cada parcela. O óleo essencial obtido foi analisado em cromatógrafo a gás, e os resultados foram comparados aos do produto fresco. A velocidade do ar de secagem não influenciou o teor de óleo nem a quantidade do componente principal (citrál). A temperatura influenciou de forma positiva a

extração do óleo essencial. Houve aumento de 21% no rendimento de extração do produto fresco em relação ao tratamento a 60 °C; de 40 para 60 °C o aumento foi de 15%. Quanto ao citral, ocorreu aumento de 5% no conteúdo, observado a 40 °C, em relação ao produto fresco. Constataram-se perdas de citral a 50 e 60 °C, em relação ao produto fresco, da ordem de 3,5 e 12%, respectivamente. A umidade relativa do ar de secagem influenciou o processo de volatilização do citral, sendo esta influência mais acentuada nas temperaturas mais elevadas, intensificando o processo de volatilização dos monoterpenos em umidades relativas do ar de secagem mais baixas.

ABSTRACT

MARTINS, Paula Melo, M.S., Universidade Federal de Viçosa, July 2000. **Effect of drying-air temperature and velocity on lemongrass essential oil yield and chemical composition.** Adviser: Evandro de Castro Melo. Committee Members: Luiz Cláudio de Almeida Barbosa and Ricardo Henrique Silva Santos.

The object of this research work was to evaluate the effect of drying-air temperature and velocity on lemongrass (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf) essential oil yield and the chemical composition of its leaves. To this end, an experimental fixed-bed drier composed of four drying chambers was built. Air velocity was controlled manually using a diaphragm, and air temperature was raised while passing through an electrical resistance-type heater. Tests were conducted using three levels of drying-air temperature, 40, 50, and 60 °C, and two levels of drying-velocity, 0.5 and 1.0 m.s⁻¹. A completely randomised statistical design was set up, combining a factorial scheme with four replicates for each test. Each drying chamber was filled with 0.225 kg of lemongrass leaves, which were cut in pieces of approximately 0.01 m. The dried samples obtained from each experimental test weighing 0.020 kg were submitted to essential oil extraction by vapour distillation using a Clavenger distillation apparatus. The essential oil obtained through distillation was then analysed by the technique of gas chromatography, and comparative tests were performed using fresh produce. Results showed that drying-air velocity did not have a significant effect either on

essential oil yield or on the amount of *citral*, its main component. Temperature had a positive effect on essential oil extraction. An increase in oil yield of 21 percentage points was observed when comparing the amount of oil extracted from samples of fresh produce with that obtained with samples dried at 60 °C. If the results obtained with tests conducted at 40 °C are compared with those obtained at 60 °C, one can observe an increase of 15 percentage points in oil yield with the corresponding increase in air temperature (20 °C). Concerning the amount of *citral* in the essential oil, an increase of 5 percentage points was observed in samples dried at 40 °C when compared with the amount obtained with fresh produce. However, for drying-air temperatures of 50 and 60 °C, reductions in the amount of *citral* of 3,5 and 12,0 percentage points, respectively, were observed when compared with the values obtained with fresh produce. Drying-air relative humidity influenced the process of *citral* volatilisation: increasing the air temperature, and consequently lowering its relative humidity, increased the rate of volatilisation of monoterpenes.

1. INTRODUÇÃO

Acredita-se que a utilização de plantas medicinais como terapia curativa e preventiva seja tão antiga quanto o próprio homem (MARTINS et al., 1994). De acordo com o Centro Internacional do Comércio, a proporção das plantas utilizadas no preparo de produtos farmacêuticos chega à terça parte das substâncias sintéticas empregadas na quimioterapia. Estima-se que das 250.000 espécies de plantas existentes no globo, 35.000 a 70.000 espécies têm sido usadas com intuito medicinal em algum país.

As plantas aromáticas, além de fornecedoras de óleos voláteis ou essenciais, são também medicinais e estão presentes no cotidiano das pessoas. Estas plantas, ou as substâncias voláteis delas extraídas, têm sido usadas como flavorizantes, aromatizantes e terapêuticos nas indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmética. Pesquisas indicam aumento regular no mercado de produtos naturais, apresentando a média anual de crescimento estimada em 22%, nos setores industriais de perfumaria, aromatizantes para produtos alimentícios, assim como em setores de processamento de óleos essenciais (VERLET, 1992).

Os países em desenvolvimento têm sido a principal fonte de óleos brutos, devido à existência de políticas de incentivo para a diversificação da produção e também para o incremento do volume de exportações e a redução das importações. Dados relativos à década de 90 demonstram que a produção mundial chegou a 45.000 t anuais, o que representa 700 milhões de dólares.

Deste total, 35% são provenientes de espécies cultivadas. Estima-se que a produção brasileira de óleos essenciais corresponda a 13,15% da produção mundial, em toneladas, sendo responsável por uma receita de 45 milhões de dólares anuais (VERLET, 1993).

O Brasil é produtor de óleo essencial de *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf., conhecida popularmente como capim-limão, capim-cidreira, capim-santo, cidró, erva-cidreira ou jaçapê, amplamente cultivada na região dos trópicos, como medicinal e aromática. A potencialidade comercial da espécie está relacionada à obtenção de seu óleo essencial, de forma que a tecnologia de pré-processamento, envolvendo secagem e destilação, é fundamental na produção de altos teores de óleo e satisfatória composição química deste.

As pesquisas, no âmbito nacional, acerca da influência do ar de secagem e do armazenamento sobre a composição química de plantas medicinais e aromáticas são ainda insuficientes. Como citado pela ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS (1998), programas de pesquisa que abordam o tema plantas medicinais devem ser necessariamente formados por equipes multidisciplinares, daí uma provável causa da morosidade na produção de trabalhos científicos e tecnológicos com tais características.

Tendo em vista as considerações iniciais, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da temperatura e da velocidade do ar de secagem no teor e na composição química do óleo essencial de capim-limão.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Importância das plantas medicinais

O uso de plantas medicinais pelo ser humano é tão antigo quanto a origem das civilizações, sendo encontrado em todas as populações, em todos os grupos étnicos conhecidos. No início dos tempos, a fitoterapia representava a principal forma terapêutica conhecida. A partir dela foram descobertos diversos medicamentos usados na medicina tradicional.

Com base na evolução histórica do uso de plantas medicinais e aromáticas, a Organização Mundial de Saúde (OMS), em 1978, passa a reconhecer a fitoterapia como terapia alternativa de eficácia comprovada (VIEIRA, 1992). Iniciam-se então programas nacionais em instituições, visando a pesquisa e o desenvolvimento na área de plantas medicinais e aromáticas. De acordo com a OMS, 80% da população mundial faz uso de alguma planta medicinal ou aromática, dos quais 30% são por indicação médica.

Devido ao crescente interesse da população por terapias alternativas e produtos naturais, atualmente o mercado de plantas medicinais e aromáticas vem crescendo de forma expressiva em todo o mundo.

O mercado mundial de fitoterápicos está avaliado em US\$ 12,4 bilhões, o que representa 5% do mercado internacional de produtos farmacêuticos. Deste montante, US\$ 355 milhões são gerados por medicamentos produzidos a partir de

espécies vegetais brasileiras. Avaliando a situação desse mercado extremamente promissor, verifica-se que os processos de extração de substâncias terapêuticas de plantas medicinais brasileiras vêm sendo patenteados por empresas estrangeiras. Há enorme interesse por parte de grandes empresas multinacionais neste setor da indústria, uma vez que elas estão capacitadas tecnologicamente para a nova tendência do mercado. Como exemplo, pode-se citar a Merck, que possui plantações próprias no Brasil de jaborandi e fava-d'anta, para extração de pilocarpina e rutina, respectivamente, que são comercializadas no mercado externo (ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS, 1998).

Mais recentemente, o estudo das plantas medicinais e aromáticas está sendo abordado também sob o enfoque agrícola, servindo como alternativa de produção para pequenos, médios e grandes produtores. Já existem no Brasil, na Região Sul, cooperativas de pequenos produtores de plantas medicinais, em especial produtores de camomila, que estão colocando seu produto no mercado interno e em alguns países do Mercosul, dentro dos melhores padrões de qualidade.

É notória a necessidade de a indústria nacional investir em pesquisa e desenvolvimento, principalmente na área de pré-processamento e armazenamento, para alcançar os padrões de qualidade exigidos pelo mercado internacional. A área de pré-processamento e armazenamento de plantas medicinais e aromáticas é a mais deficiente em informações científicas dentro do trabalho multidisciplinar envolvendo plantas medicinais (MING, 1999).

2.2. Considerações sobre o capim-limão (*Cymbopogon citratus* (D.C) Stapf)

O capim-limão, como é conhecido popularmente no Brasil, é uma espécie da família das Gramíneas, pertencente ao gênero que abriga 85 espécies (ABEGAZ e YOHANNES, 1983). A planta é uma erva acaule, cespitosa, de folhas longas, aromáticas, estreitas, agudas e ásperas, com nervura central grossa e acanalada, segundo descrição de LEAL (1998).

O *Cymbopogon citratus* é originário da Índia, sendo cultivado em todos os países na região dos trópicos. Prefere climas quentes e úmidos, com chuvas bem distribuídas e temperatura média elevada. Não resiste a regiões frias sujeitas a geadas. É cultivado a pleno sol, vegetando em qualquer solo, desde que bem drenado e fértil (CORRÊA JÚNIOR et al., 1994).

A propagação desta espécie pode se dar por sementes com posterior transplante, como ocorre na Índia, local onde floresce durante os meses de novembro e dezembro. No Brasil, a sua propagação é vegetativa, dando-se por meio da divisão de touceiras nos meses de setembro a janeiro (MARTINS et al., 1994).

O primeiro corte após o plantio é recomendado no sexto mês. A frequência de corte deve ser de três ao ano, com produtividade média anual de 80 a 120 kg.ha⁻¹ de óleo essencial, segundo dados do Instituto Agrônomo de Campinas. De acordo com CHOUDHURY e GHOSH (1995), a altura de corte de 30 cm foi a recomendada, por produzir o mais alto valor de matéria seca e rendimento em óleo essencial do capim-citronela (*Cymbopogon winterianus*). CHOUDHURY (1994) recomenda, como a melhor altura de corte, 20 cm, em razão do rendimento em óleo essencial na espécie *Cymbopogon flexuosus*. LEAL (1998) descreve a altura de corte de 20 cm em plantios comerciais da espécie em sistema de colheita mecanizada. Esta colheita é feita com segadeira de dentes acoplada lateralmente ao trator. Para que não ocorra embuchamento, a velocidade de corte não deve ser muito lenta (CALHEIROS et al., 1995). Não são descritas podas de renovação, devido ao fato de a planta ter dois a três cortes por ano.

Quanto às propriedades terapêuticas, o óleo essencial apresenta ação antibacteriana e antifúngica (CARRICONDE et al., 1996). O extrato hidroalcoólico apresenta significativo efeito analgésico. O extrato aquoso da planta fresca, assim como o do óleo essencial isolado, testados em ratos, demonstraram inibição de substâncias indutoras da dor: carragenina e prostaglandina E-2. O citral, principal componente do óleo, apresenta propriedade larvicida e repelente de insetos. Segundo pesquisas do IAPAR (Instituto Agrônomo do Paraná), a ação larvicida

da espécie no combate ao mosquito da dengue é maior que a dos inseticidas químicos utilizados (MASCHIO, 1998).

2.3. Secagem de plantas medicinais e aromáticas

De acordo com HERTWIG (1986), a secagem de plantas medicinais e aromáticas tem por objetivo retirar uma porcentagem elevada de água livre das células e dos tecidos, impedindo os processos de degradação enzimática e proporcionando a sua conservação, com manutenção da qualidade em composição química, pelo período de tempo necessário para que se obtenha nova safra. A questão da alta sensibilidade do princípio biologicamente ativo e sua preservação no produto final é, sem dúvida, o maior problema na secagem e no armazenamento de plantas medicinais e aromáticas.

As farmacopéias britânica, egípcia, belga, espanhola, suíça, americana e russa recomendavam, desde a década de 70, a faixa de temperatura ótima de 55 – 60 °C para secagem de folhas de *Digitalis lanata*, utilizando o método de secagem em estufa com circulação forçada de ar. Essa recomendação foi citada no trabalho de BALBAA et al. (1974), em que se analisou o efeito de métodos de secagem (ao sol, à sombra e em três faixas de temperatura do ar em estufa: 55 a 60 °C 90 a 95 °C e 120 a 125 °C) na qualidade e no conteúdo em glicosídeos. Concluiu-se que o melhor método de secagem, associado às menores perdas em componentes químicos, foi a secagem em estufa na faixa de temperatura de 55 a 60 °C, apesar de as folhas secas à sombra terem mantido melhor coloração e aparência em relação àquelas secas ao sol e em estufa na faixa de 55– 60 °C.

A grande maioria dos trabalhos de secagem realizados a partir da década de 70 comparava métodos de secagem ao sol e à sombra com a secagem em estufa com circulação forçada de ar. Os resultados obtidos por ELMASRY (1976), trabalhando com folhas picadas de beladona (*Atropa beladona*) e estramônio (*Datura metel*), indicaram que a secagem à sombra resultou em menores decomposições dos alcalóides, não havendo diferenças significativas entre a

secagem ao sol e aquela em estufa a 50 °C. As pequenas diferenças observadas foram atribuídas ao processo de fotodecomposição induzido pela luz solar.

Experimentos realizados em Porto Rico com o capim-limão (*Cymbopogon citratus*), descritos por GUENTHER (1972), em que os pesquisadores foram motivados pelo interesse dos proprietários de grandes destilarias do país, concluíram que a secagem ao sol por um período de cinco dias consecutivos resultou em menor rendimento em óleo essencial, mas com maior teor de citral, seu componente principal. Dessa forma, a secagem tornou-se parte integrante do pré-processamento do capim-limão nas destilarias produtoras do óleo. EL FATTAH et al. (1992), trabalhando com a mesma espécie, confirmaram as pesquisas anteriores, tendo apenas a preocupação de comparar a secagem ao sol com a secagem à sombra, avaliando-se o rendimento em óleo e o seu teor em citral com o produto fresco. Concluiu-se que, no capim-limão, a secagem ao sol resulta em: a) menores perdas em teor de citral e b) valores mais elevados de rendimento em óleo, contrariamente ao descrito por GUENTHER (1972).

A secagem ao sol, em muitas plantas medicinais e aromáticas, é totalmente desaconselhada, visto que o processo de fotodecomposição ocorre intensamente, degradando os componentes químicos e ocasionando alterações de cor, sabor e odor na erva.

No caso do açafrão (*Crocus sativus* L.), que é uma das ervas mais valorizadas no mercado de especiarias e cujo valor está ligado à qualidade em aroma e coloração, o processo de secagem faz com que a erva produza o aroma adequado ao padrão exigido para a sua comercialização. A Índia possui uma das melhores variedades de açafrão cultivadas no mundo, porém não possui o domínio do mercado dessa especiaria, uma vez que seu produto tem qualidade inferior quanto à coloração e ao odor, características de suma importância para o mercado internacional do açafrão em pó. Apesar de a Índia produzir, segundo RAINA et al. (1996), aproximadamente 30 t por ano de açafrão, perfazendo um montante de US\$ 20 milhões, o seu produto não apresenta grande valor agregado, sendo negociado como produto de qualidade inferior no mercado internacional. O açafrão proveniente da Espanha possui maior valor agregado em

relação ao açafraão indiano, devido ao domínio das técnicas de pré-processamento, em especial a utilização de secagem artificial, desenvolvida especialmente para a espécie, denominada “toasting”.

CHARLES et al. (1993) estudaram também o efeito da secagem artificial e ao sol, avaliando parâmetros como temperatura e umidade relativa do ar de secagem na concentração de artemisinina em *Artemisia annua*, comparando com o produto fresco. Concluíram que a maior retenção de artemisinina se deu quando a secagem foi realizada em condições ambientais e no caso de secagem artificial em períodos curtos, menores que 12 horas.

As pesquisa mais recentes sobre secagem de plantas medicinais têm oportunizado como objetivos de estudo os seguintes parâmetros: a) temperatura e velocidade do ar de secagem, b) umidade relativa do ar dentro e fora do sistema de secagem, c) temperatura do material e d) pressão estática em função da altura de camada do produto.

Em relação à altura de camada, SKRUBIS (1982) avaliou as alturas de 5, 7,5 e 10 cm de folhas de louro (*Laurus nobilis*), trabalhando com secagem em estufa com temperaturas de 40, 50, 60 e 70 ± 1 °C. Observou-se correlação linear do aumento da temperatura do ar de secagem na perda em composição química do produto. O efeito da altura não foi significativo no processo de secagem. ZELEPUGA e LAPTSEVICH (1982) relacionaram o aumento da eficiência de secagem à redução da altura de camada pela metade, aumentando as taxas de secagem em aproximadamente 1,4 vez, secando *Bidens tripartitus* a 100 °C. Secando *Mentha piperita* a 60 °C, a mesma alteração na altura de camada permitiu o aumento de 2,0 vezes na taxa de secagem. Essas avaliações permitiram recomendar a altura de 80 – 100 mm de produto para a secagem de plantas medicinais, tendo como base a secagem de três espécies: *Matricaria chamomilla*, *Bidens tripartitus* e *Mentha piperita*.

A velocidade é outro parâmetro do ar de secagem de extrema relevância no processo. Segundo SILVA et al. (1995), o aumento da vazão do ar de secagem em grãos exerce maior influência na diminuição do tempo de secagem que a temperatura; entretanto, em locais de alta umidade relativa, o aumento da vazão

não reduz o tempo no processo de secagem. Há grande variação em relação aos valores de velocidade do ar recomendados para secagem de plantas medicinais. HANSEN et al. (1993) utilizaram velocidade de $0,039 \text{ m.s}^{-1}$, num secador de leito fixo, trabalhando com camada delgada de raspas de *Taxus x media* Hicksii. O mais alto valor encontrado foi de $3,3 \text{ m.s}^{-1}$, utilizado por VENSKUTONIS et al. (1996) e VENSKUTONIS (1997) na secagem de tomilho (*Thymus vulgaris* L.) e sálvia (*Salvia officinalis* L.). Na secagem de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.), a velocidade, utilizada por BARITAUX et al. (1992), foi de $0,4 \text{ m.s}^{-1}$. MULLER et al. (1992) utilizaram $0,2 \text{ m.s}^{-1}$ na secagem de folhas de sálvia (*Salvia officinalis* L.).

Cabe ressaltar que, em alguns casos, a secagem artificial resultou no maior rendimento em óleo e, ou, na maior concentração do componente ativo. Na secagem de tomilho a $30 \text{ }^\circ\text{C}$, VENSKUTONIS et al. (1996) descreveram o aumento de 213 mg.kg^{-1} no produto fresco para 288 mg.kg^{-1} no produto seco, em relação à concentração de β -cariofileno. VENSKUTONIS (1997), comparando a secagem de tomilho e sálvia, observou o aumento de 29% de β -cariofileno no tomilho seco a $30 \text{ }^\circ\text{C}$, o que não ocorreu com a sálvia em relação ao seu componente principal. HANSEN et al. (1993) constataram que as melhores concentrações de taxol foram observadas a $60 \text{ }^\circ\text{C}$, a mais alta utilizada no referido experimento.

2.4. Importância econômica e industrial dos óleos essenciais

Os óleos essenciais são usados para conferir aroma e odores especiais a diversos produtos alimentícios e de perfumaria. Também é grande o seu uso como medicamentos analgésicos, anti-sépticos, sedativos, expectorantes, estimulantes, estomáquicos, etc. (Craveiro et al., 1981, citados por MARTINS, 1996).

Os países em desenvolvimento têm sido as principais fontes de óleos brutos, devido à política de diversificação da produção, no sentido de diminuir as importações e incrementar as exportações, procurando equilibrar a balança comercial (VERLET, 1993). A produção mundial de óleos essenciais está em torno

de 45.000 t, avaliadas em US\$ 700 milhões. Estima-se que a produção brasileira de óleos essenciais corresponda a 13,15% da produção mundial, em toneladas.

O setor industrial experimentou substancial expansão em escala mundial na área de flavorizantes. Todos os dados disponíveis indicam aumento regular no mercado de produtos naturais. Entre 1987 e 1990, o crescimento anual do mercado de substâncias para perfumaria foi estimado em 6%; o de aromatizantes de alimentos, em 8,5%; e o de óleos essenciais, em 7,5% (VERLET, 1992). Nos Estados Unidos, grandes quantidades de óleos essenciais são produzidas atualmente como subprodutos de processos industriais com maiores rendimentos que produtos primários. Parte dessa produção é proveniente de espécies aromáticas, e a outra, de indústrias madeireiras e de extração de polpa (SIMON, 1993). Segundo FLORÊNCIO (1992), a indústria de aromas e fragrâncias de Portugal baseia-se principalmente no eucalipto (*Eucalyptus globulus*) e pinheiro (*Pinus pinaster*) como fontes de matéria-prima. A produção tem sido em média de 400 t por ano, sendo mais de 90% deste total exportado. Dentre as plantas potencialmente exploradas pela indústria portuguesa estão 22 espécies aromáticas, 13 medicinais e três corantes. Há interesse governamental no lançamento e na manutenção de campos experimentais por todo o país, no intuito de selecionar as culturas mais propícias ao aproveitamento industrial. No caso da Espanha, de acordo com GARCÉS (1992), a implantação de destilarias na região de La Mancha foi devido à proximidade das regiões de cultivo e ao aproveitamento da vegetação silvestre em nível industrial, que atualmente vem sendo abandonada em detrimento da produção de espécies cultivadas. A região tem como estimativa de sua produção total 88,4 t por ano, sendo 51 t de essência de lavanda.

O maior problema no desenvolvimento das indústrias produtoras de óleo é a grande concorrência com os similares sintéticos. Felizmente, por meio de novas exigências do mercado por produtos naturais, em detrimento dos sintéticos, empresas como a NESTLÉ vêm favorecendo o uso dos flavorizantes naturais, correspondendo a 75% do montante dos flavorizantes utilizados por esta indústria (VERLET, 1993). Um dos desafios à expansão de culturas produtoras de óleos essenciais é desenvolver ou procurar linhagens genéticas com características

agronômicas satisfatórias e desejável composição química. Verdadeiros bancos de germoplasma estão sendo desenvolvidos por empresas especializadas na comercialização de sementes de ervas, temperos e culturas especiais (SIMON, 1993).

A valorização dos óleos essenciais no mercado internacional tem flutuações de grande amplitude. O preço no mercado age como termômetro do planejamento da produção de pequenos e grandes empreendedores agrícolas. Em função dessa oscilação de mercado, vários países da Europa criaram institutos de normalização, apoiando produtores, distribuidores e consumidores na elaboração e atualização de normas que resultaram em documentos ou especificações técnicas.

2.5. Composição química do óleo essencial de capim-limão (*Cymbopogon citratus* (D.C) Stapf.)

O óleo essencial de capim-limão é um dos mais importantes óleos essenciais comercializados. O nome capim-limão lhe foi atribuído devido à semelhança com o odor de limão proveniente de seu elevado teor em citral (Rogers, 1981, citado por QUEIROZ, 1993).

O principal componente do óleo essencial de capim-limão é o citral, que de fato é mistura de isômeros, conhecida como citral A ou isômero *E* (geranial) e citral B ou isômero *Z* (neral); seus nomes químicos são, respectivamente, (2*E*) - 3,7 - dimetilocta - 2,6 - dienal e (2*Z*) - 3,7 - dimetilocta - 2,6 - dienal (Figura 1). Como componentes de maior ocorrência na espécie estão citral, mirceno, limoneno, nonanal, nerol, geraniol, decanal, linalol, acetato de geranila e terpineol (ABEGAZ EYHNNES, 1983; EL FATTAH et al., 1992; CARRICONDE et al., 1996).



Figura 1 - Estruturas químicas dos isômeros do citral no óleo essencial de capim-limão.

O citral pode ser isolado do óleo, sendo obtido por destilação com 98% de pureza e usado na indústria de perfumes e de alimentos. Seu maior emprego é na produção de iononas, metil-iononas e vitamina A. É importante matéria-prima na síntese de vitamina A e β -caroteno. O geranial e neral podem ser transformados em geraniol e nerol, que têm alto preço no mercado, possuindo odor de rosa e laranja, usados na fabricação de perfumes finos (Craveiro, 1981, citado por LEAL, 1998).

A composição química do óleo pode ser bastante variável, conforme a diversidade genética, o habitat e os tratos culturais. Análises do óleo essencial de *Cymbopogon citratus* de várias regiões identificaram o citral como o principal constituinte volátil presente. Na descrição dos constituintes do óleo essencial de *C. citratus* originário da Etiópia, ABEGAZ EYHNNES, (1983) mencionam como principal constituinte do óleo o geraniol, correspondendo a 40% do óleo.

Distinguem-se dois tipos comerciais do óleo essencial de capim-limão, o *East Indian* e o *Weast Indian*, de acordo com as diferenças de solubilidade em álcool a 70% (Quadro 1), em função da maior ou menor concentração de mirceno, um dos constituintes químicos secundários. Os países tradicionalmente produtores do óleo de capim-limão são Índia, Guatemala, Haiti, Madagascar, Indochina e Brasil (Souza, 1991, citado por LEAL, 1998).

Quadro 1 - Características físico-químicas do óleo comercial de capim-limão

Características	Óleo Essencial	
	Tipo <i>East Indian</i>	Tipo <i>Weast Indian</i>
Massa Específica (kg/m ³)	0,899 – 0,911	0,816 – 0,882
Índice de Refração	1,486 – 1,490	1,483 – 1,488
Rotação Ótica	(-) 1°10.: - (-) 3°10.:	(-) 0°04.: - (-) 1°08.:
Solubilidade em Álcool 70% v/v	1 parte em 2 – 2,5	1 parte em < 1

Fonte: QUEIROZ, 1993.

2.6. Biossíntese dos componentes de óleos essenciais e rota biossintética do citral

Segundo QUEIROZ (1993), a investigação da composição química dos óleos essenciais foi iniciada no século XIX e levou à descoberta de alguns hidrocarbonetos – os terpenos. Os óleos essenciais são misturas complexas contendo carbono, oxigênio, hidrogênio e, ocasionalmente, nitrogênio e enxofre. Tais misturas complexas podem conter mais de 100 constituintes, os quais são responsáveis, em parte, pelo odor e sabor das plantas. Os óleos essenciais mais conhecidos e utilizados são constituídos basicamente por duas classes de compostos, os fenilpropenos e os terpenos, sendo estes os mais abundantes (HAY e WATERMAN, 1993).

Os principais terpenos encontrados nos óleos essenciais podem ser subdivididos em monoterpenos e sesquiterpenos, com esqueletos de 10 e 15 carbonos, respectivamente. A principal característica dos terpenos é a presença da unidade isopreno, formada por cinco carbonos. Dessa forma, os terpenos são classificados em função do número de unidades de isopreno encontradas na molécula: duas unidades (C₁₀) - monoterpenos, três unidades (C₁₅) - sesquiterpenos, quatro unidades (C₂₀) - diterpenos, etc.

A estrutura dos fenilpropenos consiste basicamente de um anel benzênico e uma cadeia lateral com três carbonos, que apresenta dupla ligação, podendo ter um grupo funcional com oxigênio (HAY e WATERMAN, 1993).

A biossíntese dos monoterpenos nas plantas está associada com a presença de estruturas secretoras especiais, como células produtoras de resinas e óleos ou epiderme glandular, que compartimentalizam todos os componentes tóxicos provenientes da atividade metabólica das células (LEWINSOHN et al., 1998).

Os produtos do metabolismo secundário apresentam vasta diversidade estrutural, mas são provenientes de três rotas biossintéticas conhecidas: acetato, mevalonato e chiquimato. Os terpenos são inteiramente derivados do mevalonato e os fenilpropanóides, do ácido chiquímico. O ácido mevalônico é intermediário químico com seis carbonos, que é formado na planta pela combinação de três moléculas de acetato, o qual é derivado do acetil coenzima A. Inicialmente o ácido mevalônico é convertido no isopentenilpirofosfato (IPP), que se isomeriza para 3,3 – dimetilalilpirofosfato (DMAPP) pela ação da enzima isopentenil pirofosfato isomerase. Sob a influência de outra enzima, a geranyl pirofosfato sintetase, os compostos IPP e DMAPP se unem para formar o geranyl pirofosfato (GPP), o primeiro monoterpeno reconhecível.

Formado o GPP, existem opções de futuras modificações, controladas por enzimas específicas. A perda da fração pirofosfato da molécula de GPP pode ocorrer, gerando produtos oxigenados, como o geraniol, que, após oxidação, origina o citral (Figura 2).

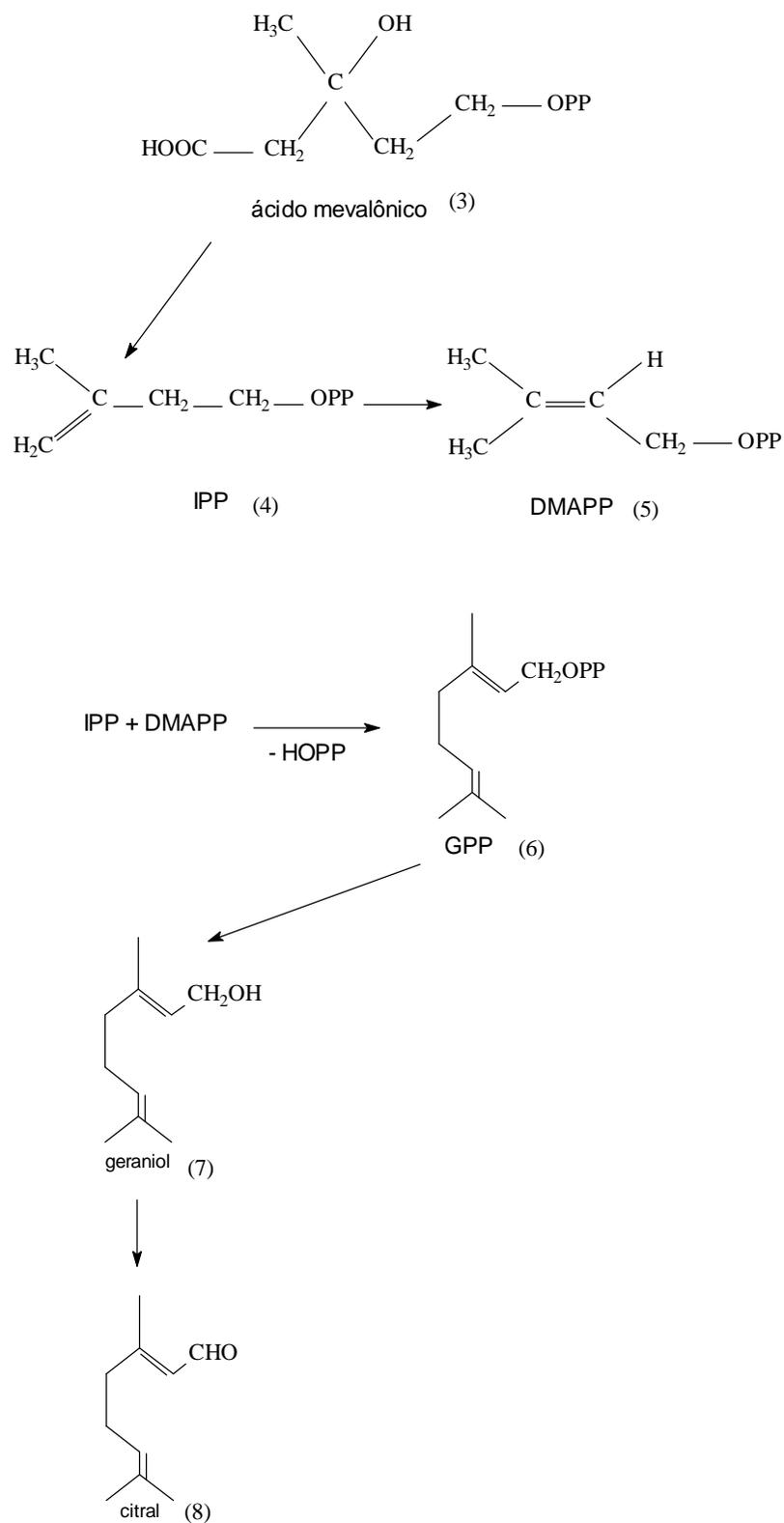


Figura 2 - Rota biossintética do citral.

CAPÍTULO 1

SECAGEM DO CAPIM-LIMÃO A 40, 50 E 60 °C COM DUAS VELOCIDADES DO AR DE SECAGEM: 0,5 m.s⁻¹ E 1,0 m.s⁻¹.

1. INTRODUÇÃO

Em razão da crescente demanda por plantas medicinais e aromáticas no mercado internacional, a secagem artificial vem sendo um dos processos mais importantes no pré-processamento destes produtos agrícolas, visando sua subsequente estocagem, seu processamento industrial ou sua comercialização. O efeito da secagem sobre os constituintes químicos voláteis de várias plantas aromáticas e de vegetais tem sido objeto de diversos estudos, os quais relacionam as mudanças de concentração dos componentes com as características do método de secagem e os parâmetros ligados ao produto sujeito à secagem. A grande maioria dos metabólitos secundários pode ser alterada tanto por fatores ambientais como por procedimentos pós-colheita (CHARLES et al., 1993).

A remoção da água durante o processo de secagem apresenta algumas vantagens, notadamente econômicas, sobre os demais processos de conservação, já que pode reduzir os gastos com armazenamento e distribuição

dos produtos secos, em virtude da redução de massa e volume (STRINGHETA, 1984).

Os limites da temperatura do ar de secagem são determinados em função da sensibilidade dos componentes químicos e de suas estruturas armazenadoras, uma vez que o produto, durante a secagem, em períodos de taxa decrescente, tem a sua temperatura aumentada, aproximando-se daquela na qual esse processo se desenvolve.

Outro fator de extrema relevância na qualidade química de plantas medicinais submetidas à secagem é a velocidade do ar usada no processo. Uma vez aumentada a taxa de insuflação do ar através do produto submetido à secagem, ocorre aumento da quantidade de água removida, ocasionando diminuição do tempo de secagem.

Dessa forma, a combinação desses dois parâmetros, que irá interferir diretamente na taxa de secagem, pode contribuir de forma significativa na diminuição do tempo gasto no processo, impedindo a degradação da composição química de cada espécie ou parte da planta submetida à secagem.

Por essa razão, e considerando a ausência de informações com embasamento experimental na literatura consultada, objetivou-se avaliar a influência da temperatura e da velocidade do ar no processo de secagem da espécie *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local

Os ensaios de secagem foram conduzidos no Laboratório de Secagem da Área de Armazenamento do Departamento de Engenharia Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa, durante o período de 25 a 29 de setembro de 1999.

2.2. Material

Foram utilizadas plantas de *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf devidamente identificadas, provenientes de plantações do campus da UFV, com aproximadamente dois anos de idade, com tratamentos culturais adequados e adubação orgânica.

2.3. Colheita

A colheita de 20 plantas foi realizada em 24 de setembro de 1999, das 8 às 10 horas da manhã, devido à maior concentração do óleo essencial pela manhã (MARTINS et al., 1994). De acordo com CHOUDHURY (1994), a altura de

corde foi definida em 20 cm a partir da extremidade da folha. O material foi encaminhado ao Laboratório de Secagem, para seleção, determinação do teor de umidade e armazenamento em câmara tipo B.O.D. a 4 ± 1 °C, como descrito por VENSKUTONIS (1997).

2.4. Seleção, determinação do teor de umidade e acondicionamento

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 tiveram suas extremidades superior e inferior cortadas, havendo o cuidado de trabalhar somente com a parte central. O produto foi homogeneizado e as folhas foram picadas com comprimento de 1 cm e armazenadas em potes de vidro com tampa de plástico, vedadas com parafilme e deixadas em câmara tipo B.O.D. com temperatura controlada de 4 ± 1 °C.

A escolha do produto picado foi baseada na realização de testes preliminares de secagem com o produto nos comprimentos de 20 cm e 1 cm. Utilizando o comprimento de 20 cm, o produto entrou em equilíbrio antes que fosse atingido o teor de umidade final desejado (0,124 b.s.). Durante a secagem houve formação de grandes buracos na bandeja, o que permitiu que o ar passasse através deles e não através da camada de produto, não sendo possível, assim, atingir o ponto final esperado. Outro fator importante na secagem do produto com 20 cm foi o comportamento inverso, do que era esperado, das parcelas que utilizaram a velocidade do ar de $1,0 \text{ m.s}^{-1}$, em relação àquelas a $0,5 \text{ m.s}^{-1}$, em que o tempo total de secagem foi muito menor. Tendo como base esses dados, optou-se pelo comprimento de 1 cm do produto, uma vez que a acomodação deste nas bandejas não ocasionou a formação de buracos, alterando o desenvolvimento da secagem.

No momento da determinação do teor de umidade, o produto foi retirado da câmara, sendo submetido à estufa somente quando em equilíbrio térmico com o ar ambiente. A determinação do teor de umidade seguiu a metodologia descrita

pela farmacopéia francesa (FRANCE 1982) para a espécie melissa (*Melissa officinalis* L.), utilizando-se 10 g de amostra moída em moinho de faca, em três repetições. As amostras foram submetidas à estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de $103 \pm 0,5$ °C, até massa constante.

2.5. Experimento de secagem

2.5.1. Secador

Utilizou-se um protótipo de secador de leito fixo, com quatro bandejas circulares de diâmetro interno igual a 21 cm, altura de camada de secagem de 6,5 cm e malha quadrada de 2,38 mm. O secador era constituído de um diafragma regulável anterior ao ventilador (Figuras 1 e 2). O aquecimento do ar deu-se por meio de um conjunto de resistências elétricas. As bandejas foram forradas com tela tipo sombrite, para evitar perda de material durante a secagem. As bandejas foram vedadas em sua parte superior com outra bandeja de malha mais aberta (9,52 mm), também forrada com tela tipo sombrite. Cada conjunto de bandejas era encaixado nas quatro câmaras de secagem.

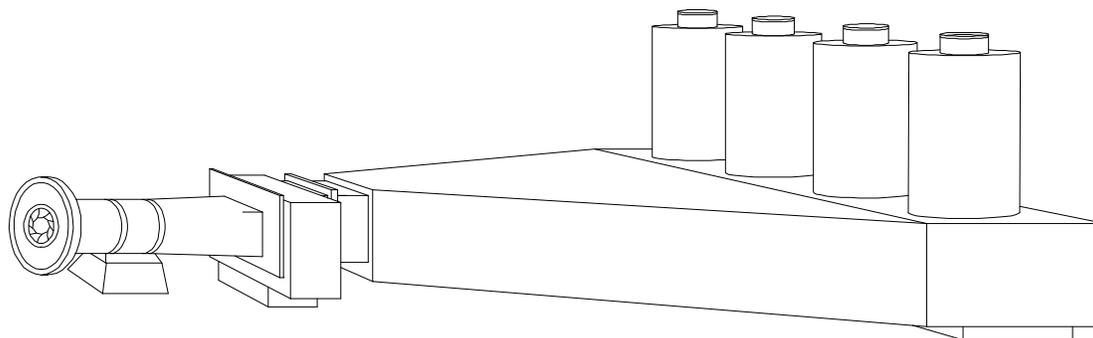


Figura 1 - Vista em perspectiva do secador de leito fixo de quatro bandejas.

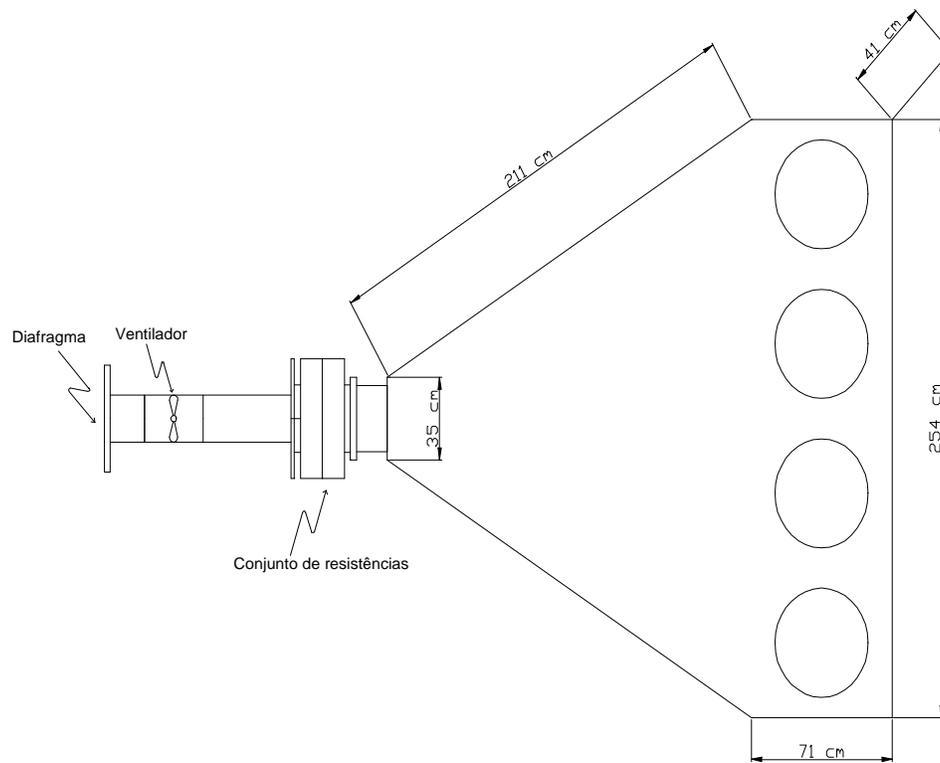


Figura 2 - Planta baixa do secador de leito fixo de quatro bandejas.

2.5.2. Instrumentação

O controle e o registro da temperatura do ar de secagem foram feitos por um sistema automático de aquisição de dados (SAAD), acoplado, via placa de expansão, a um microcomputador 486 DX 4 e mediante termopares tipo T, previamente calibrados. O SAAD utilizado foi o SCXI - MS 100 da National Instruments, controlado pelo *software* Virtual Bench.

Na medição da velocidade do ar de secagem, foi utilizado um anemômetro de pás rotativas, colocado na parte superior das bandejas. As leituras eram feitas ao final de cada pesagem, trabalhando-se com as médias das quatro bandejas. A velocidade era mantida constante durante o período de secagem por meio do controle do diafragma.

Em análises preliminares da secagem das folhas de capim-limão, observou-se a rápida perda de massa durante a primeira hora. Nas horas seguintes o processo tornava-se mais lento, até o ponto em que a diferença nas massas que geravam diminuição nos valores de teor de umidade foi obtida aproximadamente a cada 30 minutos. Dessa forma, a perda de massa foi medida na primeira hora a cada 10 minutos, na segunda hora a cada 20 minutos e nas horas seguintes a cada 30 minutos. As pesagens foram feitas em balança semi-analítica digital. Cada bandeja foi carregada com 225,00 g do produto picado, que foi depois acomodado manualmente e prensado com a bandeja superior, permanecendo assim até o final da secagem. A secagem foi interrompida quando em cada bandeja o produto apresentou teor de umidade final de aproximadamente 0,124 b.s. (base seca).

2.6. Delineamento experimental

As plantas colhidas foram submetidas à secagem em três temperaturas (40, 50 e 60 °C) e duas velocidades do ar de secagem (0,5 e 1,0 m.s⁻¹), arranjadas no esquema fatorial (3 x 2), no delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Curvas de secagem

Os dados obtidos foram submetidos à análise de regressão, com a finalidade de obter o modelo matemático que melhor representasse o processo de secagem das folhas de capim-limão. Foram testados diversos modelos matemáticos, optando-se pelo exponencial, em razão de a correlação com os dados experimentais ter sido bastante satisfatória, como pode ser observado no Quadro 1.

As curvas de secagem estão apresentadas nas Figuras 3, 4 e 5.

$$U_{(t)} = \exp (a - kt)$$

em que

U = teor de umidade (b.s.) do produto no tempo t;

a = parâmetro de regressão (adimensional);

k = constante de secagem (min^{-1}); e

t = tempo de secagem (min).

Quadro 1 - Modelos matemáticos obtidos a partir de dados experimentais de secagem de capim-limão a 40, 50 e 60 °C, com velocidades do ar de 0,5 e 1,0 m.s⁻¹

Temperatura (°C)	Velocidade (m.s ⁻¹)	Equações Ajustadas	r ²
40	0,5	$U_{(t)} = \exp (0,7011 - 0,0096t)$	0,981
40	1,0	$U_{(t)} = \exp (0,7603 - 0,0126t)$	0,993
50	0,5	$U_{(t)} = \exp (0,8708 - 0,0185t)$	0,988
50	1,0	$U_{(t)} = \exp (0,9470 - 0,0195t)$	0,989
60	0,5	$U_{(t)} = \exp (0,8286 - 0,0291t)$	0,995
60	1,0	$U_{(t)} = \exp (0,9218 - 0,0370t)$	0,989

Os coeficientes de correlação auxiliaram na escolha do modelo exponencial, confirmando o comportamento de secagem da maioria dos produtos agrícolas. Na secagem em camada fina de folhas de chá-preto, TEMPLE e VAN BOXTEL (1999) analisaram os dados experimentais da curva de secagem por meio de modelo matemático exponencial definido pela equação de Lewis. AFONSO JÚNIOR e CORRÊA (1999) compararam diversos modelos matemáticos, sugerindo, para a cinética de secagem em camada fina de sementes de feijão, a equação de Page, também exponencial, como a que melhor representou os dados experimentais.

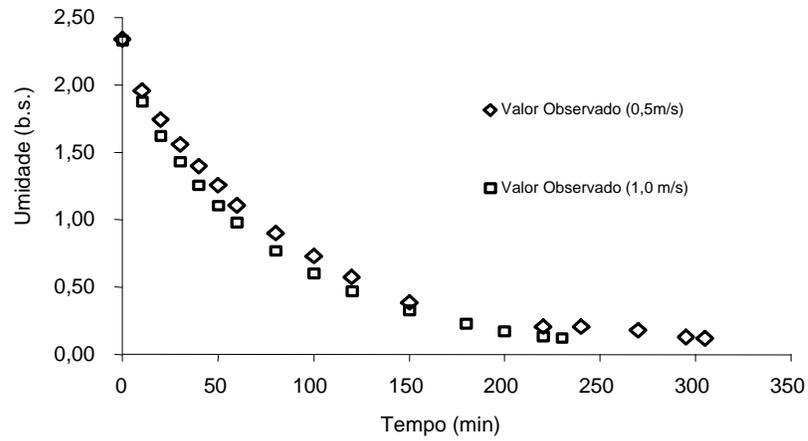


Figura 3 - Curva de secagem de capim-limão com temperatura do ar de secagem de 40 °C.

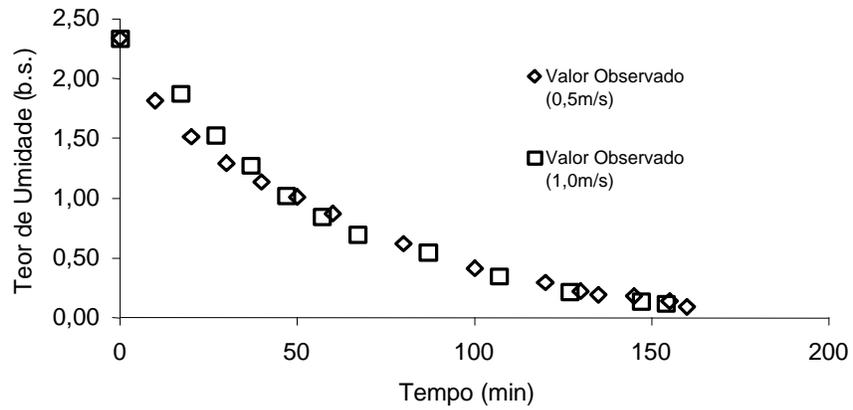


Figura 4 - Curva de secagem de capim-limão com temperatura do ar de secagem de 50 °C.

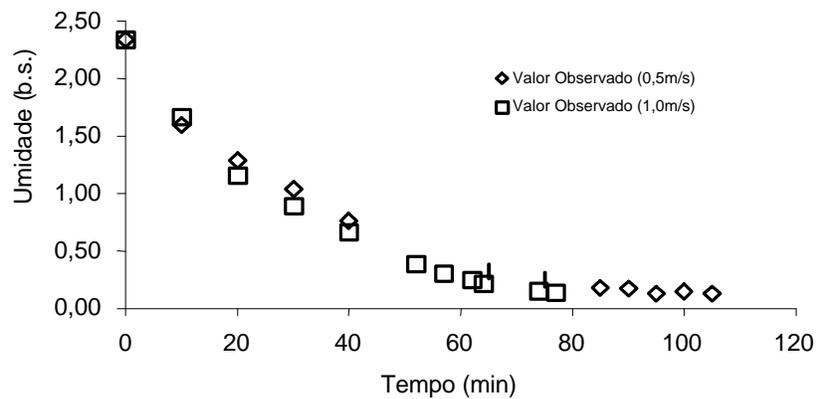


Figura 5 - Curva de secagem de capim-limão com temperatura do ar de secagem de 60 °C.

3.2. Efeito da temperatura do ar no tempo de secagem do capim-limão

Os resultados referentes aos tempos de secagem de capim-limão, em função da temperatura e da velocidade do ar de secagem, estão relacionados no Quadro 2.

Quadro 2 - Tempo total de secagem de folhas de capim-limão, em minutos, e sua diferença relativa em função da temperatura e velocidade do ar de secagem

Temperatura do ar (° C)	Velocidade do ar (m.s ⁻¹)		Diferença Relativa (%)
	0,5	1,0	
	Tempo (min)		
40	305	230	24,6
50	160	154	3,8
60	105	77	26,7

Determinou-se que o maior tempo de secagem ocorreu a 40 °C, em relação às temperaturas mais elevadas, como era de se esperar, havendo efeito decrescente no tempo de secagem à medida que ocorre o aumento na temperatura do ar. Essa resposta pode ser justificada por SILVA et al. (1995), devido ao aumento do potencial de secagem em decorrência do aumento da temperatura do ar, ocasionando diminuição da umidade relativa do ar de secagem.

Com base no Quadro 2, pode-se observar que o aumento da temperatura do ar causou diminuição no tempo de secagem; esse efeito foi igual ao observado com o aumento da velocidade do ar de secagem. Cabe ressaltar que na temperatura de 50 °C, ao se aumentar a velocidade do ar de 0,5 para 1,0 m.s⁻¹, houve pequena redução no tempo de secagem, diferente da grande variação ocorrida nas demais temperaturas.

Reduções no tempo de secagem em virtude do aumento da temperatura do ar também foram observadas em experimentos de secagem realizados por MULLER e MUHL BAVER (1990) com a espécie *Chamomilla recutita*, em que se verificou redução de 52,0 para 3,5 h, utilizando temperaturas de 30 e 50 °C, respectivamente. MULLER et al. (1992), secando folhas de *Salvia officinalis*, concluíram que houve redução no tempo de secagem, de 120 para 0,4 h, quando se aumentou a temperatura de 30 para 90 °C.

Os dados de umidade relativa do ar de secagem observados durante o processo de secagem das folhas de capim-limão nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C, combinados com as duas velocidades de ar (0,5 e 1,0 m.s⁻¹), são apresentados no Quadro 3.

O fato de o secador não dispor de sistema de controle da umidade relativa do ar de secagem para que esta fosse mantida constante nos ensaios de mesma temperatura pode ser apresentado como a principal causa da menor redução do tempo de secagem para a temperatura de 50 °C (Quadro 3).

Quadro 3 - Valores médios de umidade relativa do ar de secagem observados em função da temperatura para as velocidades do ar utilizadas no experimento de secagem de folhas de capim-limão

Temperatura do ar (°C)	Velocidade do ar (m.s ⁻¹)	Umidade relativa do ar (%)	Coefficiente de variação (%)
40	0,5	44,1 ± 2,5	6,62
40	1,0	38,1 ± 5,5	12,54
50	0,5	29,8 ± 1,6	5,28
50	1,0	35,4 ± 3,7	10,43
60	0,5	35,2 ± 4,7	13,23
60	1,0	23,9 ± 1,2	4,98

3.2.1. A teoria da cinética de Arrhenius na avaliação do efeito da temperatura na secagem de capim-limão

A cinética de fenômenos físicos influenciados pela temperatura, como a secagem, pode ser justificada pelo modelo de Arrhenius (SINGH e HELDMAN 1986). Como demonstrado pelas Figuras 6 e 7, o modelo descreve o efeito da temperatura na constante de secagem, segundo a equação:

$$K = A \exp(-E/RT)$$

em que

k = constante de secagem (min⁻¹);

A = fator pré-exponencial (min⁻¹);

E = energia de ativação (kJ. mol⁻¹);

R = constante universal dos gases (8,315 x 10⁻³ kJ. mol⁻¹. K⁻¹); e

T = temperatura do ar de secagem (K).

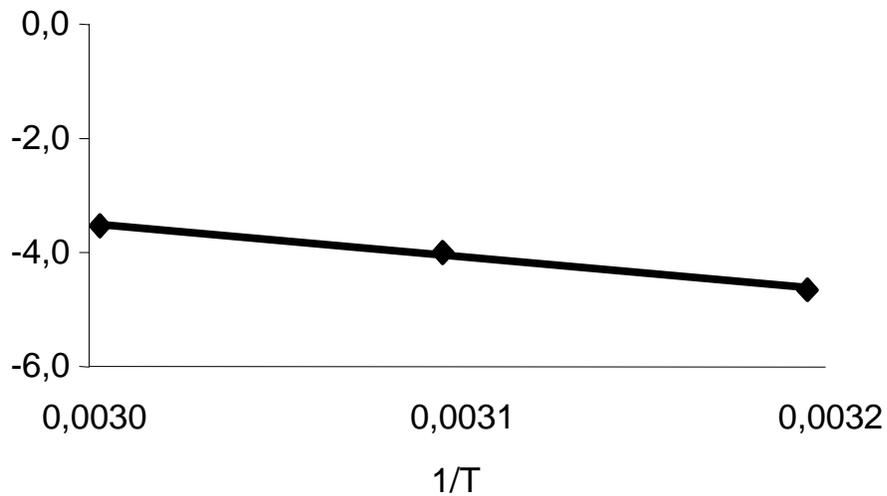


Figura 6 - Efeito da temperatura segundo o modelo de Arrhenius, na secagem de capim-limão utilizando velocidade do ar de secagem de $0,5 \text{ m.s}^{-1}$ e temperaturas de 40, 50 e 60 °C.

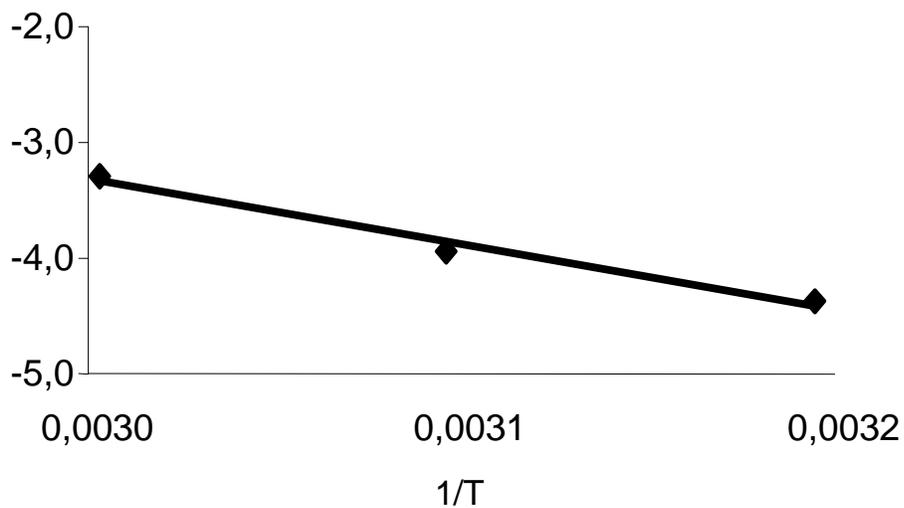


Figura 7 - Efeito da temperatura, segundo o modelo de Arrhenius, na secagem de capim-limão, utilizando velocidade do ar de secagem de $1,0 \text{ m.s}^{-1}$ e temperaturas de 40, 50 e 60 °C.

Utilizando o modelo de Arrhenius, calcularam-se as constantes de secagem, que foram comparadas com os valores obtidos pelo modelo exponencial.

Quadro 4 - Comparação entre os valores de constante de secagem (k) calculados pelo modelo exponencial utilizando os dados experimentais da secagem de folhas de capim-limão e os valores calculados pelo modelo de Arrhenius

Temperatura do ar (°C)	Velocidade do ar (m.s ⁻¹)	k estimado da equação exponencial (min ⁻¹)	k calculado Arrhenius (min ⁻¹)
40	0,5	0,0096	0,0099
	1,0	0,0126	0,0121
50	0,5	0,0185	0,0174
	1,0	0,0195	0,0211
60	0,5	0,0291	0,0299
	1,0	0,0370	0,0355

Houve variação muito pequena entre os valores estimados pelo modelo exponencial utilizando os dados experimentais e aqueles obtidos pela equação de Arrhenius (Quadro 4). Dessa forma, o efeito da temperatura no fenômeno físico da secagem das folhas de *Cymbopogon citratus* pode ser explicado também pelo modelo de Arrhenius, como já verificado em estudos de secagem (DONZELES, 1982; CORRÊA et al., 1993) e avaliações de qualidade de produtos agrícolas (CORRÊA, 1992; FERREIRA et al., 1999).

3.3. Efeito da velocidade do ar no processo de secagem das folhas de capim-limão

As curvas de secagem na mesma temperatura do ar e as velocidades do ar de secagem de 0,5 e 1,0 m.s⁻¹ são mostradas nas Figuras 8, 9 e 10.

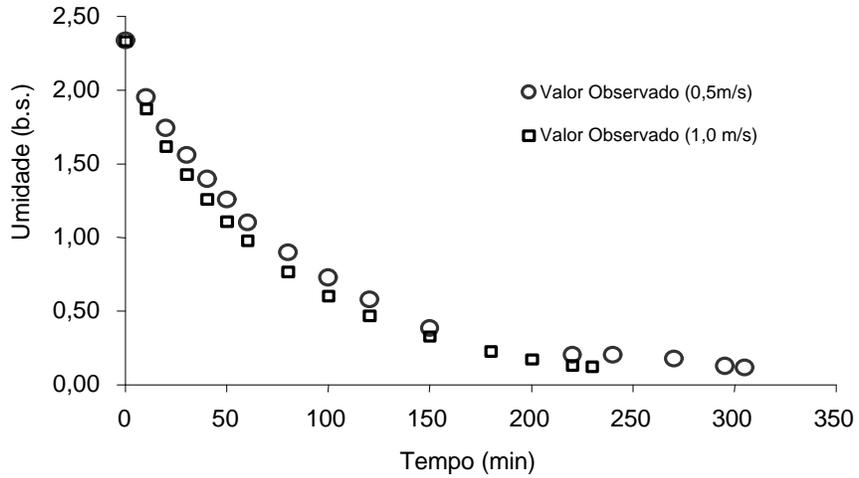


Figura 8 - Curvas de secagem de folhas de capim-limão nas velocidades de 0,5 e 1,0 m.s⁻¹, na temperatura de 40 °C.

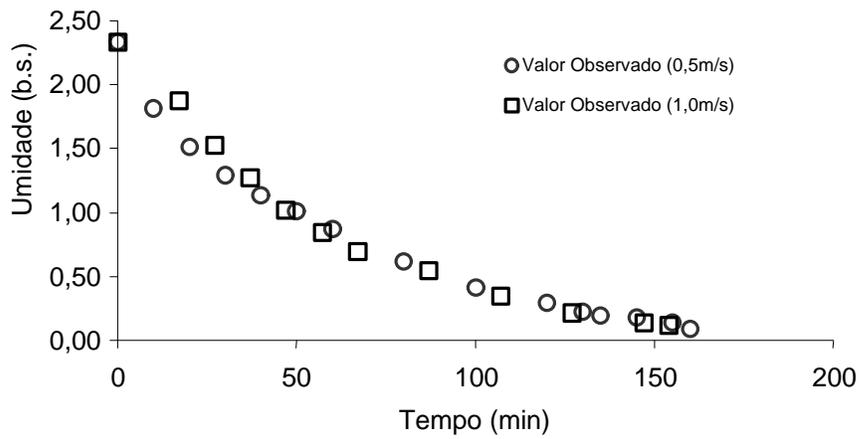


Figura 9 - Curvas de secagem de folhas de capim-limão nas velocidades de 0,5 e 1,0 m.s⁻¹, na temperatura de 50 °C.

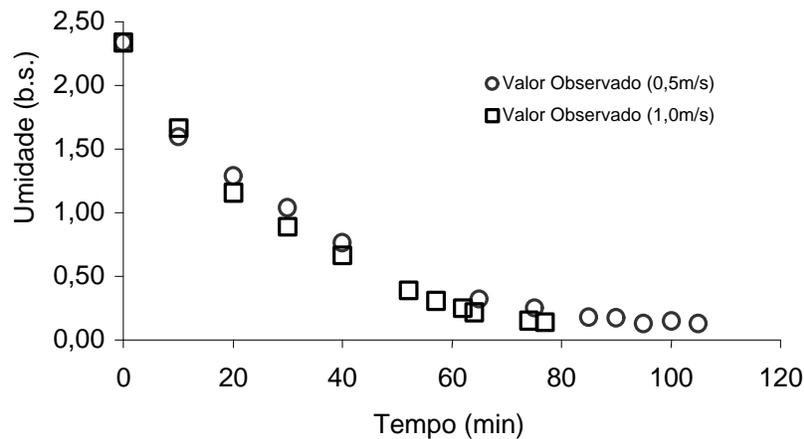


Figura 10 - Curvas de secagem de folhas de capim-limão nas velocidades de 0,5 e 1,0 m.s⁻¹, na temperatura de 60 °C.

É possível notar que a secagem realizada em velocidade de 1,0 m.s⁻¹ foi ligeiramente mais rápida em todas as temperaturas, em relação àquelas em que se utilizou velocidade de 0,5 m.s⁻¹ (Quadro 2). A 50 °C, a diferença entre os tempos de secagem foi menor (apenas 3,8%), quando comparada com os outros tratamentos (aproximadamente 25%). Tal observação pode ser justificada pelo fato de que no tratamento com 50 °C e 0,5 m.s⁻¹ a umidade relativa do ar de secagem foi de 29,8%, enquanto na mesma temperatura a 1,0 m.s⁻¹ a umidade relativa assumiu valor de 35,4%. (Quadro 3). A diminuição da umidade relativa do ar provoca o aumento do potencial de secagem, resultando na diminuição do tempo necessário para se atingir o teor de umidade final desejado.

Apesar de os resultados obtidos evidenciarem somente a influência da temperatura no tempo de secagem das folhas de capim-limão, TEMPLE e VAN BOXTEL (1999) concluíram que os tempos de secagem de folhas de chá-preto em camada delgada apresentaram maior dependência da vazão do ar do que das temperaturas utilizadas no experimento, comparando-se com a secagem de outros produtos agrícolas. ZELEPUGA e LAPTSEVICH (1982) afirmaram que, apesar dos períodos de taxa decrescente, a velocidade do ar não exerceu influência

pronunciada nas taxas de secagem, ocorrendo aumento na eficiência do processo em função desta velocidade. Pinheiro Filho (1976), citado por SATHLER (1979), ao estudar a secagem de soja, concluiu que, em secagem contínua, a temperatura é o único fator que afetou significativamente o tempo de secagem.

A diminuição do tempo de secagem na velocidade de $1,0 \text{ m.s}^{-1}$, em todas as temperaturas, também pode ser justificada com base na cinética de Arrhenius, em que se observou menor valor de energia de ativação a ser alcançado pelo produto para inicializar o processo de secagem. Ocorre transferência de menor quantidade de energia para o produto na velocidade de $1,0 \text{ m.s}^{-1}$, sendo esta quantidade de energia suficiente para iniciar a secagem (Quadro 5). Os valores calculados de energia de ativação utilizaram as médias das constantes de secagem em cada temperatura.

Quadro 5 - Valores de energia de ativação (E) e fator pré-exponencial (A) nos tratamentos de secagem de folhas de capim-limão, utilizando velocidades do ar de 0,5 e $1,0 \text{ m.s}^{-1}$

Velocidade do ar (ms^{-1})	Energia de Ativação (kJ. mol^{-1})	Fator Pré-Exponencial (min^{-1})
0,5	48,31	$1,131 \times 10^6$
1,0	46,57	$0,717 \times 10^6$

4. RESUMO E CONCLUSÕES

Com o objetivo de avaliar a secagem das folhas de capim-limão em três temperaturas do ar de secagem (40, 50 e 60 °C), combinadas com duas velocidades de ar (0,5 e 1,0 m.s⁻¹), foi utilizado um secador protótipo de leito fixo com quatro câmaras de secagem, sistema de aquecimento do ar por resistências elétricas e velocidade do ar controlada manualmente por meio de um diafragma anterior ao ventilador. O experimento foi realizado em bloco inteiramente casualizado, em esquema fatorial (3 x 2) com quatro repetições, utilizando 225,0 g de produto picado em cada bandeja da câmara de secagem.

Observou-se redução no tempo de secagem em função do aumento da temperatura e do aumento da velocidade do ar. O aumento da temperatura de 40 para 60 °C proporcionou redução do tempo de secagem de aproximadamente 65% em ambas as velocidades do ar de secagem. A velocidade de 1,0 m.s⁻¹ proporcionou menor tempo de secagem. Essa redução foi de aproximadamente 25% nas temperaturas de 40 e 60 °C. Na temperatura de secagem de 50 °C, o aumento da velocidade do ar ocasionou diminuição de aproximadamente 4% no tempo de secagem.

CAPÍTULO 2

AVALIAÇÃO DO TEOR E DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO ÓLEO ESSENCIAL DE CAPIM-LIMÃO SUBMETIDOS À SECAGEM EM CAMADA DELGADA

1. INTRODUÇÃO

O capim-limão, *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf, como é conhecido popularmente no Brasil, pertence ao gênero que abrange 85 espécies. A espécie tem seu óleo essencial utilizado mundialmente como componente aromático em indústrias de cosméticos e perfumarias. O óleo de capim-limão é um dos óleos essenciais mais importantes, possuindo como componente principal o citral, ou uma mistura dos isômeros, geranial e neral, que é utilizada pela indústria farmacêutica para a síntese de iononas e vitamina A. A planta sempre foi muito utilizada pela população, devido a seu efeito analgésico e calmante. O citral possui atividade germicida reconhecida contra cerca de 22 microrganismos, sendo usado como larvicida e repelente de insetos (MING et al., 1996).

Segundo GUENTHER (1972), entre os maiores produtores de óleo essencial está a Índia, havendo duas regiões distintas de produção (o oeste e o leste), com ocorrência de variações nas propriedades físico-químicas do óleo de cada uma delas. Esta diferença deve-se à alta concentração de mirceno e

terpenos olefínicos, os quais, em contato com o ar, se polimerizam facilmente. Mais tarde, identificaram-se espécies diferentes nas regiões produtoras. O teor de óleo essencial das plantações brasileiras está em torno de 75 a 86%, valor bastante satisfatório no mercado internacional. Nas plantações do Rio Grande do Sul, o teor de óleo encontra-se em torno de 86% (SIQUEIRA et al., 1986).

Durante a Segunda Guerra Mundial, o Brasil tornou-se produtor de quantidades expressivas de essência de capim-limão do tipo *West Indian* (GUENTHER, 1972). Em nosso país, os principais centros de produção localizam-se em São Paulo e Minas Gerais (CAMPOS et al., 1975).

A composição química dos óleos essenciais de capim-limão torna-se distinta em função das variedades, dos tratos culturais, do estresse hídrico e principalmente da região de cultivo. Há poucas referências na literatura especializada que relacionam as condições de pré-processamento com a análise química da espécie estudada. Os constituintes químicos do capim-limão são descritos em função dos grupos químicos a que pertencem, como: hidrocarbonetos, álcoois, aldeídos, cetonas, flavonóides e alcalóides (EL FATTAH M. et al., 1992; CARRICONDE et al., 1996). Possui também vários aldeídos com citronelal, isovaleraldeído e decana, além de cetonas e álcoois, como o geraniol.

Devido à pouca informação em relação às alterações na composição química do capim-limão submetido aos efeitos da temperatura e velocidade do ar de secagem, objetivou-se determinar o teor de óleo essencial em cada tratamento de secagem, assim como a análise quantitativa de sua composição química.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Experimento de secagem

As amostras analisadas no Laboratório de Análise e Síntese de Agroquímicos – LASA, da Universidade Federal de Viçosa, foram provenientes dos tratamentos de secagem descritos no capítulo 1.

2.2. Extração do óleo essencial

Na extração do óleo essencial das folhas de capim-limão foi utilizado o aparelho Clevenger (Figura 1), adaptado a um balão de fundo redondo com capacidade de 1.000 mL (SKRUBIS, 1982; MING et al., 1996).

O balão de fundo redondo foi carregado com 20,0 g da planta e 500 mL de água destilada, em cada extração, iniciando-se o processo de hidrodestilação. O tempo de extração variou de 60 a 90 min, valores estes que estão de acordo com a maioria das referências encontradas na literatura (SKRUBIS, 1982; BARITAUX et al., 1992; VENSKUTONIS et al., 1996; VENSKUTONIS, 1997). Foram realizadas três repetições extrativas para cada parcela, combinando temperatura e velocidade do ar.

Após obtido o hidrolato (mistura de água + óleo), procedeu-se à extração com solvente orgânico pentano (3 x 50 mL), em funil de separação. A fração

orgânica obtida foi tratada com sulfato de magnésio anidro em excesso. Após alguns minutos em repouso, a solução foi filtrada e concentrada em evaporador rotativo a 40 °C, até redução expressiva do volume do solvente, de onde foi transferida para balão de fundo redondo de 10 mL, devidamente tarado. Novamente o extrato foi concentrado sob vácuo em evaporador rotativo à temperatura de 40 °C. Ao final do processo, o balão foi pesado, calculando-se o rendimento em óleo.

As amostras foram colocadas em frascos de vidro com tampa rosqueada, vedados com parafilme e mantidos em geladeira até o momento da análise cromatográfica.

Os conteúdos em óleo dos tratamentos de secagem foram comparados com os dados obtidos da amostra fresca, calculados de acordo com VENSKUTONIS (1997), tendo como base a matéria seca.

Na interpretação dos dados de conteúdo de óleo essencial das amostras analisadas, realizaram-se testes de média e análise de regressão, utilizando-se o programa estatístico SAEG (1997).

2.3. Análise qualitativa do óleo

A análise qualitativa do óleo foi realizada por cromatografia em fase gasosa acoplada à espectrometria de massa (CG/EM), utilizando-se aparelho Shimadzu CG – 17A com detector seletivo de massa, modelo QP 5000, sob as seguintes condições experimentais: coluna capilar de sílica fundida (30 m x 0,25 mm) com fase ligada DB5 (0,25 µm de espessura de filme); temperatura do injetor de 220 °C; programação da coluna com temperatura variando de 60 a 240° C, sendo acrescidos 3 °C a cada minuto; gás carreador Hélio (1 mL/min); razão de separação 1:20; volume injetado de 1 µL (1% de solução em éter dietílico); e pressão inicial na coluna de 1,91 Pa. As condições do EM foram: energia de impacto de 70 eV; velocidade de decomposição 1.000; intervalo de decomposição de 0,50; e fragmentos de 45 Da a 450 Da decompostos. Injetou-se, nas mesmas

condições das amostras, uma mistura de hidrocarbonetos. Fez-se a análise de regressão linear do tempo de retenção em função do número de carbonos de cada hidrocarboneto. A partir da equação obtida e do tempo de retenção de cada composto, foi calculado o Índice de Kovats (IK) ou índice de retenção relativo de cada um deles (SILVA, 1999). Os IKs foram comparados com os dados da literatura (ADAMS, 1995).



Figura 1 - Fotografia do aparelho Clevenger utilizado para extração do óleo essencial das folhas de capim-limão.

2.4. Determinação do teor de citral no óleo essencial

As amostras do óleo essencial foram analisadas por meio de cromatografia em fase gasosa, utilizando aparelho Shimadzu GC – 17 A, nas seguintes condições experimentais: coluna capilar SBP5; temperatura do injetor de 220 °C; temperatura do detector FID de 240 °C; programação da coluna com temperatura constante de 100 °C; gás carreador Nitrogênio (1mL/min); razão de separação 1:20; e volume injetado de 1µL (1% de solução em penteno). Na calibração externa, foi preparada uma solução-padrão de citral, constituída dos dois componentes principais, geranial e neral, utilizando o pentano como solvente, nas concentrações de 2, 4 e 6 mg.mL⁻¹. Por meio da curva de calibração feita com o padrão (Figura 2), determinou-se a concentração total, dada pela soma das áreas dos dois constituintes do citral, transformando-se os valores de resposta registrados em teor do componente principal (MING et al., 1996). A planta fresca foi utilizada como comparativo na análise dos cromatogramas, baseando-se no teor de óleo e na porcentagem de citral na matéria seca.

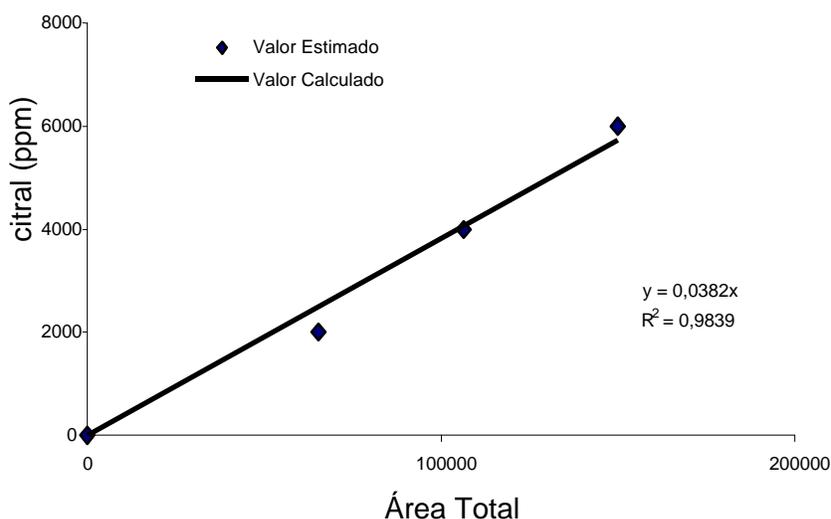


Figura 2 - Curva de calibração do padrão de citral (geranial + neral) em função da concentração em ppm e da soma das áreas individuais (área total).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Extração do óleo essencial e seu rendimento

As médias obtidas na extração do óleo essencial das folhas de capim-limão submetidas aos testes de secagem, assim como o material fresco, encontram-se no Quadro 1.

Quadro 1 - Média das porcentagens de teor de óleo em relação à matéria total e à matéria seca, obtida nos tratamentos de secagem das folhas de capim-limão em função da temperatura e velocidade do ar de secagem

Temperatura do ar (°C)	Velocidade do ar (m.s ⁻¹)	Teor de umidade do produto (b.s.)	Porcentagem de óleo em relação à matéria total (%)	Porcentagem de óleo em relação à matéria seca (%)
40	0,5	0,12 ± 0,014	1,29 ± 0,125	1,44 ± 0,126
40	1,0	0,13 ± 0,013	1,22 ± 0,056	1,38 ± 0,072
50	0,5	0,13 ± 0,044	1,31 ± 0,100	1,47 ± 0,146
50	1,0	0,13 ± 0,006	1,33 ± 0,092	1,50 ± 0,100
60	0,5	0,12 ± 0,022	1,49 ± 0,126	1,67 ± 0,152
60	1,0	0,13 ± 0,02	1,45 ± 0,182	1,63 ± 0,207
Fresco		2,34	0,39 ± 0,05	1,30 ± 0,170

As porcentagens de óleo em relação às matérias seca e total foram calculadas para cada amostra submetida à extração, utilizando-se o teor de umidade final (b.s.) obtido após a secagem daquela parcela, gerando assim o valor de massa da matéria seca na amostra. Dessa forma, a massa de óleo obtida na extração foi relacionada à matéria seca da amostra, como também à massa total, de aproximadamente 20,0 g (Apêndice).

Como existe variação do teor de umidade na planta durante o dia, a determinação do conteúdo de óleo essencial tendo como base a matéria total torna-se pouco confiável, uma vez que esta variação pode ser em virtude da perda de óleo ou por diminuição da turgescência. Para permitir a comparação dos resultados com maior precisão na análise estatística, consideram-se os valores de óleo obtidos em relação à matéria seca.

Avaliando-se os valores encontrados por EL FATTAH et al. (1992) para o rendimento em óleo essencial extraído das folhas frescas de capim-limão, o valor de 0,36%, em relação à matéria total, encontrou-se compatível com o observado no material colhido de cultivares da UFV, utilizados nos ensaios (Quadro 1). É possível que o menor conteúdo de água nas folhas, após a secagem, permita que a corrente de vapor gerada no extrator possa arrastar mais eficientemente as substâncias voláteis armazenadas nas células, quando comparado com o material verde. Segundo GUENTHER (1972), devido ao alto teor de umidade nas plantas frescas, há forte tendência à aglutinação do óleo, impedindo que o vapor penetre de forma mais uniforme nos tecidos vegetais.

Observou-se diferença no conteúdo em óleo, influenciada pela temperatura e não pela velocidade do ar de secagem. O rendimento em óleo essencial apresentou comportamento linear ($P \leq 0,05$), ocorrendo aumento em função da elevação da temperatura do ar (Quadro 2).

Quadro 2 - Resumo da análise de variância para o teor de umidade, teor em óleo essencial e porcentagem de citral no óleo essencial extraído da folha fresca e das folhas submetidas aos tratamentos de secagem

FV	GL	Quadrado Médio		
		Umidade	Teor em Óleo	% citral no óleo
Temperatura	2	0,060463 ^{ns}	0,123317*	256,9954*
Linear	1	0,107256 ^{ns}	0,235225*	453,6899*
Quadrática	1	0,013668 ^{ns}	0,011408 ^{ns}	60,3009
Velocidade	1	0,297038 ^{ns}	0,003750 ^{ns}	112,2337 ^{ns}
T x V	2	0,578488 ^{ns}	0,003350 ^{ns}	185,0712 ^{ns}
Resíduo	18	3,346451	0,019792 ^{ns}	83,8052
CV (%)		16,64	9,30	15,42

ns – não-significativo. * significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

Segundo CAMPOS e CANÉCHIO FILHO (1975), vários fatores podem causar a variação da porcentagem de óleo obtido, destacando-se o tipo de solo cultivado, a idade da planta na época da colheita, a técnica de destilação empregada, além dos cuidados na manipulação do produto. A resposta linear pode ser justificada de forma semelhante à utilizada por LEWINSOHN et al. (1998), que concluíram que o óleo está acumulado em células oleosas específicas, diferentes de outras estruturas de armazenamento mais frágeis, como pêlos glandulares, tricomas e glândulas epidérmias. Estas células são estruturas especiais, de parede celular lignificada, que estão presentes no tecido parenquimatoso localizado na lâmina e nas bordas da folha. O fato de as células estarem em tecido mais interno na planta e possuírem paredes lignificadas pode indicar que o aumento da temperatura ocasionou maiores teores do óleo essencial. Dessa forma, trabalhando com as médias das duas velocidades do ar, e utilizando a mesma temperatura, obtiveram-se resultados em conteúdo de óleo em relação à matéria seca, nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C, de 1,41, 1,49 e 1,65%, respectivamente. Verificou-se maior rendimento em óleo nos tratamentos que utilizaram temperaturas do ar mais altas (Figura 3). O produto fresco foi

submetido ao processo de extração do óleo essencial sem ter sido submetido a nenhum ensaio de secagem prévio.

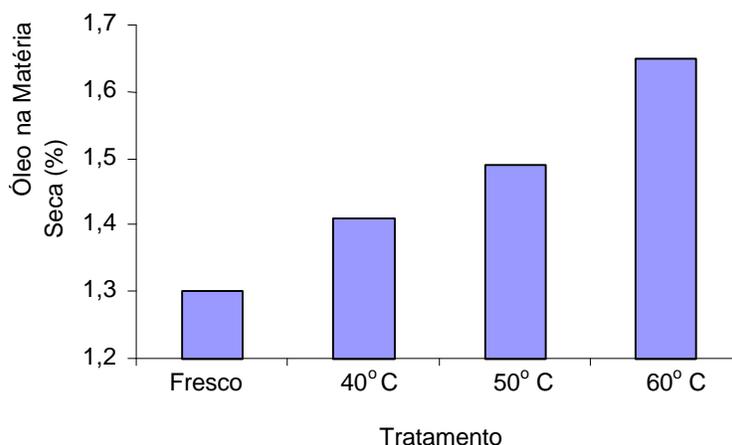


Figura 3 - Conteúdo de óleo em relação à matéria seca (%) de folhas de capim-limão submetidas a três temperaturas do ar de secagem.

Como observado por LEAL (1998), a secagem em estufa até massa constante resultou em rendimento de óleo em relação à matéria seca, na temperatura de 40 °C, de 1,69%; a 50 °C, de 0,76%; e a 60 °C, de 1,10%. No entanto, Buggle et al. (1997), citados por LEAL (1998), trabalhando com secagem de 30, 50, 70 e 90 °C em estufa, verificaram maior rendimento em óleo essencial das folhas de capim-limão sob temperaturas mais baixas.

3.2. Análise qualitativa

Os resultados de testes preliminares indicaram não haver diferenças nos cromatogramas das três repetições extrativas realizadas para cada repetição de secagem; por isso, elas foram reunidas, e, assim, cada uma das quatro parcelas dos tratamentos de secagem apresentou uma análise quantitativa.

CHARLES et al. (1993) afirmam que a maioria dos metabólitos secundários pode ser alterada por fatores ambientais, assim como por práticas de pós-colheita.

Foram identificados 12 componentes nos cromatogramas do produto fresco e seco a 50 °C, por meio de comparação do índice de Kovats calculado, e utilizando-se os valores dos espectros de massa obtidos, com os do banco de dados do aparelho e aqueles encontrados por ADAMS (1995) (Quadro 3).

Não foi observada nenhuma variação na presença dos componentes, do produto fresco (não-submetido aos tratamentos de secagem) em relação ao produto seco a 50 °C (Quadro 2). De acordo com os resultados, observou-se que o óleo extraído assemelha-se ao tipo Leste Indiano, no qual há concentração baixa de mirceno. THAPA et al. (1971) descreveram como componentes químicos da espécie de *Cymbopogon citratus* o citral, o geraniol e o acetato de geranil. EL FATTAH et al. (1992) apresentaram cromatogramas do óleo essencial do capim-limão, sem contudo indicar seus tempos de retenção ou índice de Kovats. Há coerência desses cromatogramas com os apresentados nas Figuras 5 e 6 em relação à posição em que o β -pineno, geraniol e acetato de geranil aparecem nos cromatogramas. Os autores indicam o pico do citral como sendo somente um, de forma contrária ao indicado por MING et al. (1996) e demonstrado nas Figuras 4 e 5, como soma dos picos dos dois isômeros neral e geranial. O geraniol aparece como componente em maior concentração depois do citral, assim como observado nas amostras de capim-limão submetidas à análise qualitativa. ABEGAZ e YOHANNES (1983) observaram a proporção de 40% de geraniol no óleo essencial de *Cymbopogon citratus* proveniente da Etiópia, enquanto o citral apresentou concentração no óleo em torno de 13,5%. O capim-limão cultivado na Nigéria e avaliado quanto às propriedades antibacterianas do óleo apresentou como segundo componente em concentração o mirceno (ONAWUNMI et al., 1984).

Quadro 3 - Constituintes do óleo essencial de capim-limão, na amostra fresca e seca a 50 °C, determinados por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa

Pico nº	Componente	MM	TR (min)	IK	Área (%)	
					Fresco	Seco
1	β -Pineno	136	12,333	961	0,26	0,38
2	Mirceno	136	12,342	961	1,33	0,53
3	Linalol	154	17,525	1083	1,04	1,18
4	2-Decin-1-ol	154	20,158	1144	0,29	0,35
5	β -Citronelol	156	24,158	1238	1,01	0,55
6	Z-Citral (neral)	152	24,650	1250	36,04	32,6
7	Geraniol	154	25,150	1262	3,40	2,32
8	E-Citral (geranial)	152	26,083	1283	44,18	38,48
9	2-Undecanona	170	26,992	1304	0,59	0,62
10	NI	168	29,175	1355	1,35	0,65
11	Acetato de Geranil	196	31,142	1401	t	t
12	Tetradecano	198	31,925	1419	t	t
13	α -Bergamoteno	204	–	1466	t	t

MM – massa molar.

TR – tempo de retenção.

IK – índice de Kovats.

NI – não-identificado.

t - traços do composto.

MARTINS (1996) detectou diferença na presença dos principais componentes de alfavaquinha (*Ocimum selloi* Benth), estragol e metileugenol, colhidos em duas regiões diferentes. Em um dos acessos o estragol mostrou-se como componente principal, enquanto o metileugenol apresentou-se em pequena quantidade. No outro acesso, o metileugenol aparece como componente majoritário e o estragol não revela nem traços.

A variação na composição dos óleos essenciais dentro de uma mesma espécie botânica, originando populações quimicamente diferentes, definidos por Hay e Svoboda (1993), citados por MARTINS (1996), como quimiótipos, sofre grande influência dos fatores ambientais e genéticos.

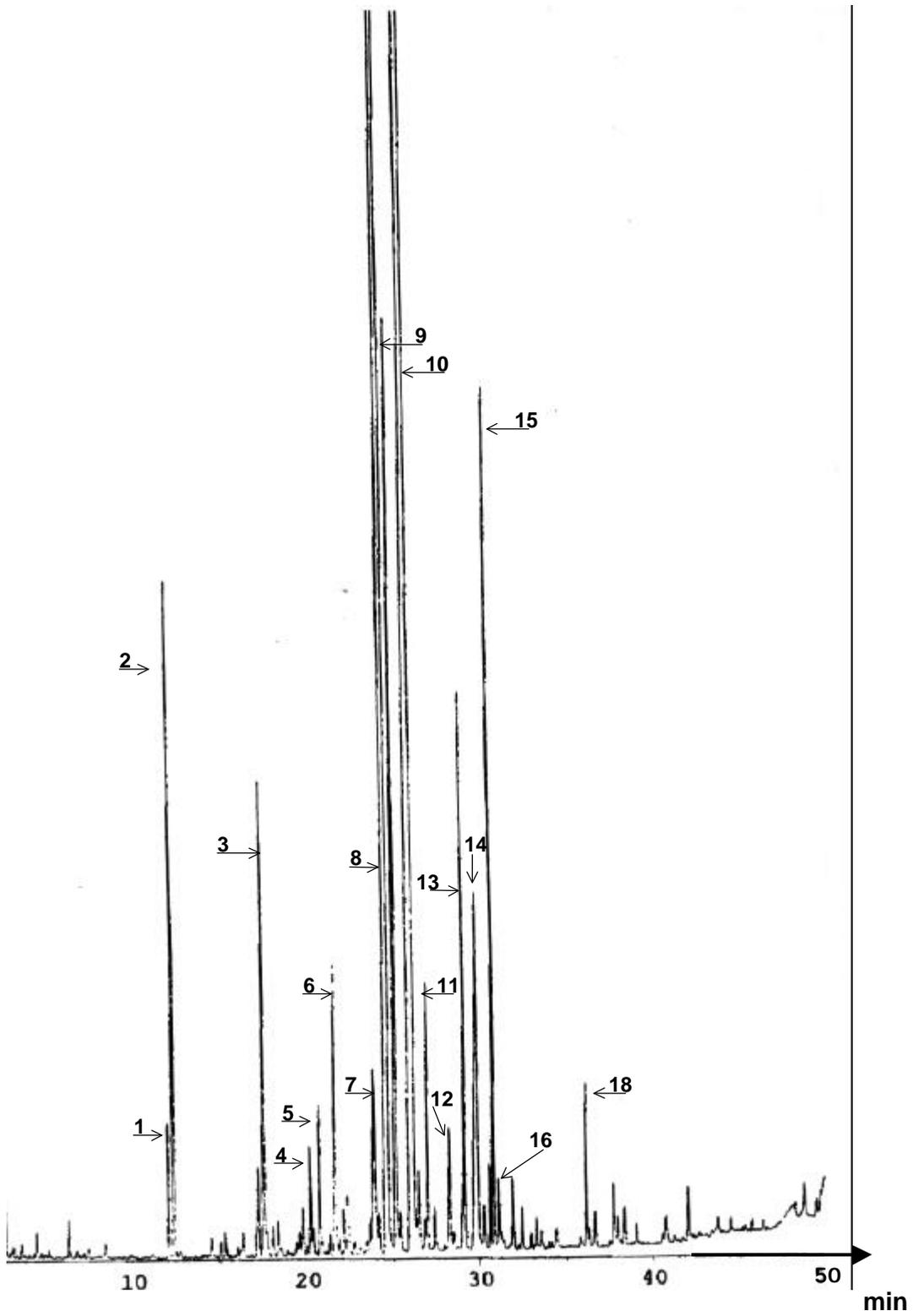


Figura4 - Cromatograma do óleo essencial das folhas de capim-limão não submetidas à secagem.

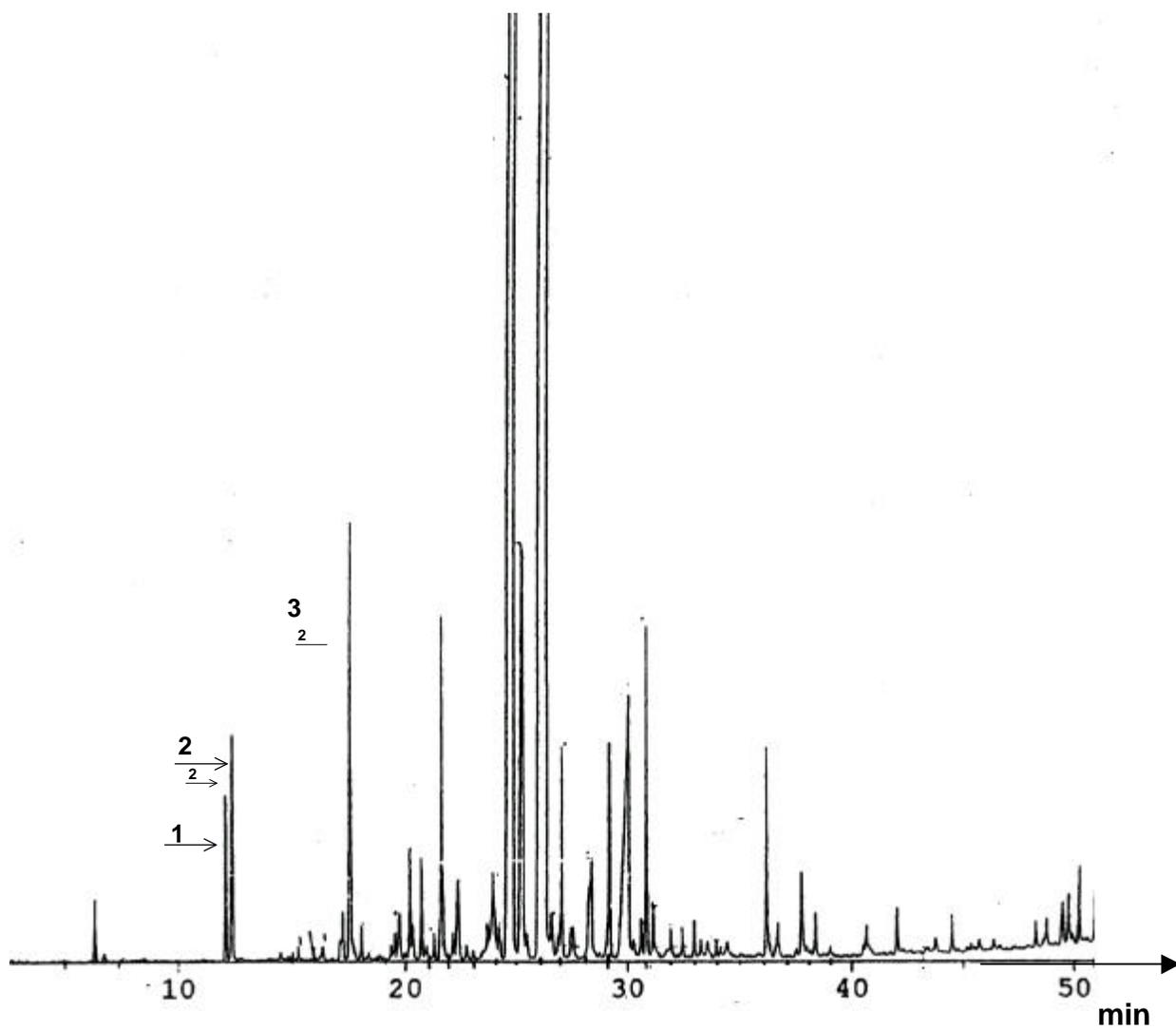


Figura 5 - Cromatograma do óleo essencial das folhas de capim-limão submetidas à secagem na temperatura do ar de 50°C e velocidade do ar de 0,5 m.s⁻¹.

3.3. Determinação do teor de citral no óleo essencial de capim-limão

A análise qualitativa do óleo essencial foi realizada em função da concentração do componente principal, o citral. A concentração de citral decresceu ($P \leq 0,05$) com o aumento da temperatura do ar de secagem (Figura 6). A concentração do citral foi obtida pela soma das áreas individuais do geranial e neral.

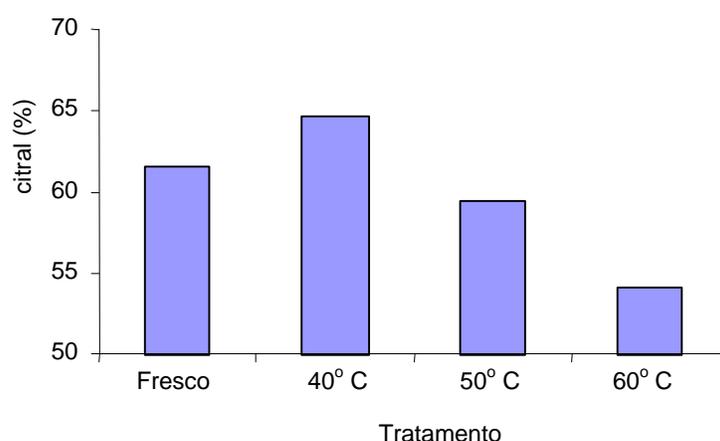


Figura 6 - Teor em citral no óleo essencial de folhas de capim-limão submetidas a três temperaturas do ar de secagem.

De acordo com a análise estatística citada anteriormente, a variável velocidade do ar não exerceu influência nos parâmetros de qualidade do óleo essencial: rendimento em óleo e análise quantitativa do componente principal. Pelo Quadro 1 deste capítulo, observaram-se valores muito próximos de conteúdo em óleo entre as velocidades dentro da mesma temperatura, em relação à matéria total e à matéria seca. Dessa forma, para analisar o teor de citral no óleo, foram utilizadas as médias das duas velocidades em cada tratamento, uma vez que, de acordo com as Figuras 7, 8 e 9, observou-se semelhança de comportamento das taxas de secagem nas duas velocidades dentro de uma mesma temperatura. As taxas de secagem indicam a perda de água sofrida pelo material em função do

tempo e são, em última análise, as responsáveis pela modificação da quantidade e qualidade dos constituintes dos produtos processados. Esses valores são influenciados pela temperatura e velocidade do ar de secagem, embora o efeito deste segundo fator tenha sido pequeno.

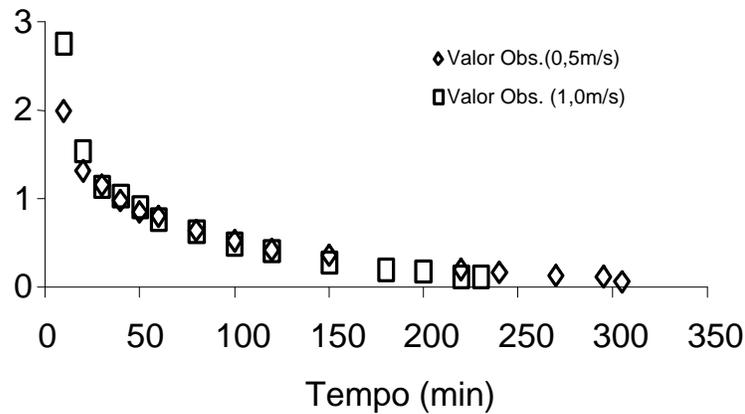


Figura 7 - Taxa de secagem de folhas de capim-limão submetidas à velocidade do ar de 0,5 e 1,0 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, na temperatura de 40 °C.

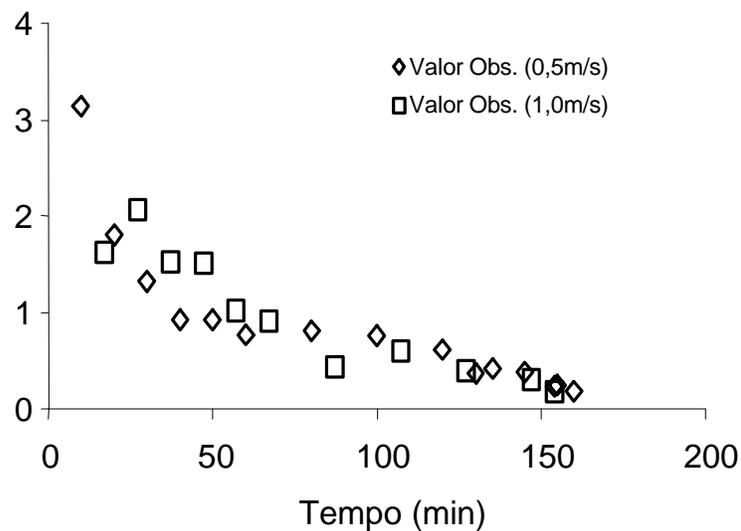


Figura 8 - Taxa de secagem de folhas de capim-limão submetidas à velocidade do ar de 0,5 e 1,0 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, na temperatura de 50 °C.

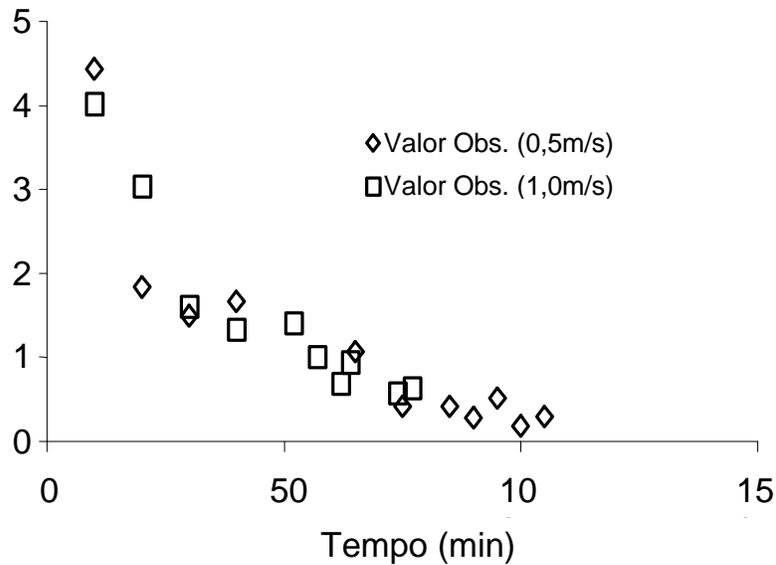


Figura 9 - Taxa de secagem de folhas de capim-limão submetidas à velocidade do ar de 0,5 e 1,0 m.s⁻¹, na temperatura de 60 °C.

Pelo Quadro 4 é possível perceber a pequena diferença entre os valores de taxa de secagem média e as velocidades do ar para uma mesma temperatura. Observou-se que, com o aumento da temperatura do ar, houve diminuição da diferença relativa entre as duas velocidades, e, à temperatura de 60 °C, esta diferença não chega a 5%.

Quadro 4 - Valores de taxa de secagem média (kg/kg x h) observados nos tratamentos de secagem de folhas de capim-limão submetidas às temperaturas de 40, 50 e 60 °C, combinadas com velocidade do ar de 0,5 e 1,0 m.s⁻¹

Temperatura do ar (°C)	Velocidade do ar (m.s ⁻¹)		Diferença Relativa (%)
	0,5	1,0	
Taxa de secagem média (kg/kg x h)			
40	0,65	0,75	13,3
50	0,86	0,97	11,3
60	1,47	1,53	3,9

DEMENT et al. (1975) justificam os mecanismos de volatilização de monoterpenos no óleo essencial de *Salvia mellifera* como dependente da temperatura e influenciado principalmente pela umidade relativa do ar, que gera processos de volatilização mais intensos. De acordo com os dados observados na Figura 7, houve decréscimo no teor de citral em função do aumento da temperatura e por influência da umidade relativa do ar de secagem. Na temperatura de 40 °C, a média de umidade relativa do ar nas duas velocidades foi de 41,1%; a 50 °C, de 32,2%; e a 60 °C, de 29,6% (Quadro 3 - capítulo 1).

Os resultados apresentados na Figura 6 revelaram níveis muito baixos de citral no produto fresco (61,5%), em relação aos valores recomendados por GUENTHER (1972) para comercialização. Justificam-se os baixos níveis de citral pela prevalência de folhas velhas nas touceiras de capim-limão que foram submetidas ao corte. Em *Melissa officinalis*, Adzet et al. (1992), citados por LEAL (1998), constataram que folhas mais velhas produzem relativamente menor quantidade de óleo essencial que as mais jovens, havendo também degradação dos metabólitos secundários nas partes senescentes das plantas, reduzindo seus teores dentro do óleo essencial. Além desta característica, que influencia de modo expressivo a qualidade da composição química da espécie, o fato de as plantas colhidas não estarem em regime de produção efetivo, ou seja, não estarem em processo de colheita ano a ano, pode ter interferido no seu rendimento em óleo (SINGH et al., 1991; CAMPOS e CANÉCHIO FILHO, 1975). Singh (1989), citado em CARRICONDE et al. (1996), afirmou que, além do óleo essencial, o citral apresenta-se principalmente em maior quantidade nas folhas mais novas.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

Com o objetivo de determinar o teor e a composição química do óleo essencial das folhas de capim-limão (*Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf) submetidas aos tratamentos de secagem, nos quais se avaliaram parâmetros como temperatura e velocidade do ar, foram utilizadas amostras de folhas picadas, secas à temperatura de 40, 50 e 60 °C, combinadas com velocidade do ar de 0,5 e 1,0 m.s⁻¹. O delineamento experimental foi em bloco inteiramente casualizado, utilizando esquema fatorial 3 x 2 x 4 x 3 (três temperaturas e duas velocidades do ar de secagem), em quatro repetições de secagem e três repetições de extração.

De acordo com as análises estatísticas, a velocidade do ar de secagem não influenciou o teor de óleo nem a quantidade do componente principal (citrál). A temperatura do ar de secagem influenciou de forma positiva a extração do óleo essencial, havendo, portanto, aumento no rendimento de extração do óleo em função do aumento da temperatura do ar. Este aumento no rendimento de extração foi de 21% do produto fresco, em relação ao tratamento à temperatura de 60 °C; de 40 °C para 60 °C, o aumento foi de 15%. Em relação ao citrál, houve aumento de 5% no conteúdo, observado a 40 °C, em relação ao produto fresco. Constataram-se perdas de citrál no produto seco a 50 e 60 °C, em relação ao produto fresco, de 3,5 e 12%, respectivamente. Observou-se a influência da umidade relativa do ar de secagem no processo de volatilização do citrál. Quanto

mais baixa a umidade relativa do ar, mais intensa foi a volatilização dos monoterpenos.

Não ocorreram alterações qualitativas, influenciadas pela temperatura do ar de secagem, quanto aos principais constituintes químicos. Ocorreram, sim, modificações na quantidade dos componentes do óleo essencial, cuja amostra foi submetida à secagem, quando comparada ao produto fresco.

3. RESUMO E CONCLUSÕES

Com base no experimento realizado, pode-se recomendar que a secagem das folhas de capim-limão em secadores comerciais de leito fixo, até teor de umidade de 0,124 b.s., seja realizada com temperatura máxima do ar de secagem igual a 40 °C e velocidade do ar de secagem de 1,0 m.s⁻¹, para se obter o máximo teor de citral no óleo.

Devido à grande influência da umidade relativa do ar de secagem na volatilização dos monoterpenos e no aumento do potencial de secagem deste ar, torna-se necessária a sua recirculação dentro do sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABEGAZ, B., YOHANNES, P.G. Constituents of the essential oil of Ethiopian *Cymbopogon citratus* Stapf. **Journal of Natural Products**, v.46, n.3, p.424–426, 1983.
- ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS. **Medicamentos a partir de plantas medicinais no Brasil**. Rio de Janeiro, R.J: 1998. 132p.
- ADAMS, R.P. **Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectroscopy**. Carol Stream: Allured Publ. Corp., 1995. 469p.
- 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.333–337, 1999.
- BALBAA, S.I., HILAL, S.H., HAGGAG, M.Y. Effect of the use of different methods of drying of *Digitalis lanata* leaves on their quality and glicosidal content. **Planta Medica**, v.26, n.1, p.20–25, 1974.
- BARITAU, O., RICHARD, H., TOUCHE, J., DERBESY, M. Effects of drying and storage of herbs and spices on the essential oil. Part I. Basil, *Ocimum basilicum* L. **Flavour and Fragrance Journal**, v.7, p.267–271, 1992.
- BROOKER, D.B.; BAKKER – ARKEMA, F.W., HALL, C.W. **Drying and storage of grains and oilseeds**, New York: AVI, 1992. 450p.

- CALHEIROS, M.B.P, DUARTE, F.R., MAIA, N.B., BOVI, O.A. – Capim-limão ou Erva-cidreira. In: FAHL, J.E, CAMARGO, M.B.P., PIZZINATO, M.A., BETTI, J.A., MELO, A.M.T. MANA, I.C., FURLANI, A.M.G. (Eds.), **Boletim 200**; instruções agrícolas para o Estado de São Paulo - Seção de plantas medicinais, aromáticas e fumo. 6 ed. [São Paulo]: Secretaria de Agricultura e Abastecimento – Coordenadoria de Pesquisa Agropecuária - Instituto Agrônomo de Campinas, 1995. (disquete).
- CAMPOS, M.G. **Percentual de grãos inteiros no beneficiamento de arroz em casca, em relação à temperatura de ar e ao tempo de residência na câmara de secagem**. Viçosa, MG: UFV, 1990. 53p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1990.
- CAMPOS, T., CANÉCHIO FILHO, V. **Principais culturas**,. 2. ed. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1975. v.2, 633p.
- CARRICONDE, C., MORES, D., VON FRITSCHEN, M., CARDOZO JÚNIOR., E.L. **Plantas medicinais e alimentícias**. Olinda: Centro Nordestino de Medicina Popular; Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1996. v.1, p.45-47.
- CHARLES, D. J., SIMON, J. E., SHOCK, C. C., FEIBERT, E. B. G., SMITH, R. M. Effect of water stress and post-harvest handling on artemisinin content in the leaves of *Artemisia annua* L. In: J. JANICK, J. E. SIMON (Eds.), **New Crops**. New York: Wiley, 1993. p.628–631.
- CHOUDHURY, S.N. Effect of clipping height on herb and essential oil yield of lemongrass (*Cymbopogon flexuosus*). **Indian Journal of Agronomy**, v.39, n.4, p.592–598, 1994.
- CHOUDHURY, S.N., GHOSH, A.C. Effect of clipping height on the oil content of Java citronella (*C. winterianus*). **Indian Journal of Agronomy**, v.40, n.3, p.486–490, 1995.
- CORRÊA JÚNIOR, C., MING, L.C., SCHEFFER, M.C. **Cultivo de Plantas Mediciniais, Condimentares e Aromáticas**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 1994. 151p.
- CORRÊA, P.C. **Estudio de los índices de madurez y calidad del aguacate tratado por frío mediante ensayos no destructivos**. Madrid, España: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, 1992. 212p. Tesis (Doctoral) – Universidad Politécnica de Madrid, 1992.

- CORRÊA, P.C., MELO, E.C., MICHELENA, M.C. Modelos matematicos de secado en capas delgadas para café. In: CONFERENCIA INTERNACIONAL DE MECANIZACION AGRARIA. 24–26 de marzo, Zaragoza. España. 1993.
- DEMENT, W.A., TYSON, B.J., MOONEY, H.A. Mechanism of monoterpene volatilization in *Salvia mellifera*. **Phytochemistry**, v.14. p.2555–2557. 1975.
- DONZELES, S.M.L. **Curvas de quebra e de secagem de milho em camadas finas; na faixa de temperatura de 45 a 150° C.** Viçosa, MG: UFV, 1982. 43 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1982.
- EL FATTAH M., A., EL ZAHWEY, HARIDY, I.M., EL DEEB, S.A. Effect of drying on the physicochemical properties and chemposition of lemongrass oil. **Menofiya Journal Agric. Res.**, v.17, n.3, p.1211–1230. 1992.
- EL MASRY, S. The effect of various drying and storage conditions on the alkaloid content of *Datura metel* Linn. **Egypt. J. Pharm. Sci.**, v.17, n.3, p.291–298. 1976.
- FERREIRA, V.L.P., TEIXEIRA NETO, R.O., MOURA, S.C.S.R., SILVA, M.S. Cinética de degradação da cor de solução hidrossolúvel comercial de urucum, submetida a tratamentos térmicos. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v.19, n.1, p.37–42, 1999.
- FLORÊNCIO, M.I.V.S. A indústria de aromas e fragrâncias em Portugal. In: JORNADAS IBERICAS DE PLANTAS MEDICINALES, AROMATICAS Y DE ACEITES ESSENCIALES, 1, 1992, Madrid, ES. **Livro de Resumos...** Madrid, ES: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, 1992. p.333–352.
- FRANCE. Ministère de la Sante. **Pharmacopée Française**. 10 ed. Paris: L'Adrapharm, 1982. 4v.
- GARCÉS, A.C. Estudio sobre las destilarias en la Region de Castilla – La Mancha. In: JORNADAS IBERICAS DE PLANTAS MEDICINALES, AROMATICAS Y DE ACEITES ESSENCIALES, 1, 1992, Madrid, ES. **Livro de Resumos...** Madrid, ES: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, 1992. p.383–388.

- GASPAR, M.A.J. Importância da normalização no âmbito dos óleos essenciais. In: JORNADAS IBERICAS DE PLANTAS MEDICINALES, AROMATICAS Y DE ACEITES ESSENCIALES, 1, 1992, Madrid, ES. **Livro de Resumos...** Madrid, ES: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, 1992. p.461–482.
- GUENTHER, E. **The essential oils**. Huntington, N.Y.: R.E. Krieger, 1972. 6v.
- HANSEN, R.C., KEENER, H.M., ELSOHLY, H.N. Thin-layer drying of cultivated *Taxus* clippings. **Transation of the ASAE**. v.36, n.5, p.1387–1391, 1993.
- HENDERSON, S.M., PERRY, R.L., YOUNG, J.H. **Principles of process engineering**. 4. ed. St. Joseph, USA: ASAE, 1997. 353p.
- LEAL, T. C. A. B. **Produção de óleo essencial de capim cidreira (*Cymbopogon citratus* (DC) Stapf) em função de fatores endógenos e exógenos**. Campos de Goytacazes, RJ: UENF, 1998, 64 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, 1998.
- LEWINSOHN, E., DUDAI, N., TADMOR, Y., KATZIR, I., RAVID, U., PUTIEVKY, E., JOEL, D.M. Histochemical localization of citral accumulation in lemongrass leaves (*Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf., Poaceae). **Annals of Botany**, v. 81. p.35–39, 1998.
- LOWER, O.J., BRIDGES, T.O., BUCKLIN, R.A. **On-farm drying and storage systems**. [s.n.]: ASAE, 1994. 560p.
- MARTINS, E.R. **Morfologia interna e externa, caracterização isozimática e óleo essencial de *Ocimum selloi* Benth.** Viçosa, MG: UFV, 1996. 97p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1996.
- MARTINS, E.R., CASTRO, D.M., CASTELLANI, D.C., DIAS, J.E. **Plantas Mediciniais**. Viçosa, MG: UFV, 1994. 220p.
- MASCHIO, J. País despreza suas plantas medicinais. **Folha de São Paulo**. São Paulo, 30 de jun. 1998. Caderno 6, p.1. (Agrofolha).
- MING, L.C. **Mesa redonda sobre plantas medicinais no ensino de 3º grau**. In: CONGRESSO SUL-BRASILEIRO DE PLANTAS MEDICINAIS, 1, 1999, Maringá, PR.

- MING, L.C., FIGUEIREDO, R.O., MACHADO, S.R., ANDRADE, R.M.C. Yield of essential oil of and citral content in different parts of lemongrass leaves (*Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf.) Poaceae. **Acta Horticulturae**, n.426, p.555–559, 1996.
- MULLER, J., KOLL-WEBER, M., KRAUS, W. Effect of drying on the essential oil of *Salvia officinalis*. In: ANNUAL CONGRESS ON MEDICINAL PLANT RESEARCH, 40, 1992, Trieste. **Abstracts of Short Lectures and Poster Presentations**. New York: Thieme, 1992. p.104.
- MULLER, J., MUHLBAUER, W. Effects of drying on the essential oil of *Chamomilla recutita*. In: INTERNATIONAL JOINT SYMPOSIUM OF: GESELLSCHAFT FÜR ARZNEIPFLANZENFORSCHUNG, AMERICAN SOCIETY OF PHARMACOGNOSY, ASSOCIATION FRANÇAISE POUR L'ENSEIGNEMENT ET LA RECHERCHE EN PHARMACOGNOSIE, PHYTOCHEMICAL SOCIETY OF EUROPE, 1990, Bonn. **Short Reports of Short Lectures and Poster Presentations**. Bonn: [s.n.], 1990. p.155.
- ONAWUNMI, G.O.; YISAK, W.A.B.; OGUNLANA, E.O. Antibacterial constituents in the essential oil of *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf. **Journal of Ethnopharmacology**, v.12, p.279–286, 1984.
- PHARMACOPÉE FRANÇAISE X^a EDITION. Sup. 1. **Monografia de Melissa** (*Melissa officinalis*). Jul. 1986.
- QUEIROZ, F. **Estudo da cinética de extração do óleo essencial de capim-limão com dióxido de carbono líquido**. Campinas, SP: UEC, 1993. 156p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, 1993.
- RAINA, B.L., AGARWAL, S.G., BHATIA, A.K., GAUR, G.S. Changes in pigments and volatiles of saffron (*Crocus sativus* L.) during processing and storage. **J. Sci. Food Agric.** v.71, p.27–32, 1996.
- SATHLER, M.G.B. **Secagem do feijão em camadas finas, a baixas temperaturas e seus efeitos na germinação das sementes**. Viçosa, MG: UFV, 1979. 39p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, 1979.
- SILVA, J.S., AFONSO, A.D.L., GUIMARÃES, A.C. Estudos dos métodos de secagem. In: **Pré-processamento de produtos agrícolas**. Juiz de Fora, MG: Instituto Maria, 1995. p.105–143.

- SIMON, J.E. New crop introduction: exploration, research and commercialization of aromatic plants in the new world. **Acta Horticulturae**, n.331, p.209–221, 1993.
- SINGH, A., SINGH, K., SINGH, D.V. Suitability of organic mulch (distillation waste) and herbicides for weed management in perennial aromatic grasses. **Tropical Pest Management**, v.37, n.2, p.162–165, 1991.
- SINGH, R.P., HELDMAN, D.R. Quality changes in frozen foods In: PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF FOOD, St. Joseph, Michigan – USA, 1986. **ASAE Publication**. 1986. p.186–201.
- SIQUEIRA, N.C.S., SILVA, G.A.A.B., ALICE, C.B. Análise dos óleos essenciais de algumas plantas aromáticas tradicionais ou nativas no Rio Grande do Sul. **Rev. Bras. Farm**, v.67, p.118–128, 1986.
- SKRUBIS, B.G. The drying of laurel leaves. **Perfumer & Flavorist.**, v.7, n.5, p.37–40, 1982.
- STRINGHETA, P. C. Desidratação de pimentas e pimentões. **Informe Agropecuário**, v.10, n.113, p.79–83, 1984.
- TEMPLE, S.J., VAN BOXTEL, A.J.B. Thin layer drying of black tea. **J. Agric. Engng. Res.**, v.74, p.167–176, 1999.
- THAPA, R.K., BRADU, B.L., VASHIST, V.N., ATAL, C.K. Screening of *Cymbopogon* species for useful constituents. **The Flavour Industry**, v.2, p.49–51, 1971.
- VENSKUTONIS, P.R. Effect of drying on the volatile constituents of thyme (*Thymus vulgaris* L.) and sage (*Salvia officinalis* L.). **Food Chemistry**, v.59, n.2, p.219–227, 1997.
- VENSKUTONIS, R., POLL, L., LARSEN, M. Influence of drying and irradiation on the composition of volatile compounds of thyme (*Thymus vulgaris* L.). **Flavour and Fragrance Journal**, v.11, p.123–128, 1996.
- VERLET, N. Essential oils: supply, demand and price determination. **Acta Horticulturae**, n.344, p.9–16, 1993.
- VERLET, N. The world herbs and essential oils economy – analysis of the medium term development. **Acta Horticulturae**, n.306, p.474–481, 1992.

VIEIRA, L. C. **Fitoterapia da amazônia: manual de plantas medicinais**. 2. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1992. 347p.

ZELEPUGA, A.S., LAPTSEVICH, P.S. Experimental study of drying the medicinal plants. In: INTERNATIONAL DRYING SYMPOSIUM, 3, 1982, Birmingham. **Proceedings...**, [s.n.], v.1, p.347–3521982.

APÊNDICE

APÊNDICE

Quadro 1A - Dados de secagem de capim-limão à temperatura do ar de 40°C e velocidade do ar de 0,5 m.s⁻¹

Tempo (min)	B ₁ (g)	B ₂ (g)	B ₃ (g)	B ₄ (g)
0	225,01	222,01	225,01	225,01
10	199,05	199,45	205,39	204,71
20	182,05	184,44	192,39	190,59
30	167,27	171,16	181,11	178,53
40	154,71	159,65	171,42	168,33
50	144	149,69	162,85	159,54
60	134,19	140,26	154,58	151,22
80	118,65	125,49	141,11	137,9
100	106,74	113,6	129,42	126,5
120	97,97	104,73	119,27	116,45
150	87,18	93,39	105,66	103,6
220	73,99	78,49	88,13	87,38
240		75,22	84,19	83,74
270			79,68	79,75
295				76,54
305				75,85

Quadro 2A - Dados de secagem de capim-limão à temperatura do ar de 50°C e velocidade do ar de 0,5 m.s⁻¹

Tempo (min)	B ₁ (g)	B ₂ (g)	B ₃ (g)	B ₄ (g)
0	224,98	224,96	224,98	224,97
10	192,41	187,81	191,23	188,4
20	172,96	166,72	170,97	167,76
30	158,64	151,27	156,37	152,67
40	148,92	140,2	146,15	141,95
50	140,78	131,52	137,44	132,83
60	133,04	122,2	128,39	122,35
80	117,44	105,43	110,77	104,17
100	103,69	92,27	96,47	89,57
120	95,16	84,72	88,07	81,08
130	88,4	81,04	83,72	76,89
135	85,82	79,26	81,57	74,92
145	82,12	77,21	79,14	
155	80,63*	74,34	75,71	
160		73,25		

*A última bandeja foi retirada antes da umidade desejada, devido a problemas de queda de tensão de tensão na rede, comprometendo o secador.

Quadro 3A - Dados de secagem de capim-limão à temperatura do ar de 60 °C e velocidade do ar de 0,5 m.s⁻¹

Tempo (min)	B ₁ (g)	B ₂ (g)	B ₃ (g)	B ₄ (g)
0	224,89	225	224,89	224,87
10	176,9	179,19	172,09	173,34
20	155,32	159,02	150,98	153,4
30	137,77	143,2	133,4	136,81
40	118,07	125,42	114,16	118,41
65	87,26	95,16	85,04	88,85
75	82,31	89,7	80,79	84,5
85	77,8	84,22	76,62	80,08
90	76,27	82,41		78,6
95	73,74	79,04		75,9
100		77,87		
105		76,31		

Quadro 4A - Dados de secagem de capim-limão à temperatura do ar de 40 °C e velocidade do ar de 1,0 m.s⁻¹

Tempo (min)	B ₁ (g)	B ₂ (g)	B ₃ (g)	B ₄ (g)
0	224,99	224,97	224,99	224,97
10	195,25	195,44	194,09	192,87
20	179,37	178,9	176,3	173,98
30	166,31	166,22	163,58	161,31
40	154,01	154,34	152,25	149,96
50	143,36	143,95	142,25	140,2
60	134,33	135,19	133,91	131,78
80	119,53	120,54	120,15	118,23
100	108,22	109,26	109,38	107,46
120	99,15	100,02	100,37	98,36
150	89,66	90,48	90,76	88,57
180	83,09	83,83	84,12	81,73
210	79,22	79,78	80,52	77,88
220	76,51	77	77,93	75,25
230		75,61	76,73	

Quadro 5A - Dados de secagem de capim-limão à temperatura do ar de 50 °C e velocidade do ar de 1,0 m.s⁻¹

Tempo (min)	B ₁ (g)	B ₂ (g)	B ₃ (g)	B ₄ (g)
0	238,76	224,94	225,94	224,95
17	205,30	191,48	193,39	193,96
27	181,94	168,12	169,99	170,79
37	164,97	151,15	152,61	153,61
47	151,06	137,24	138,40	139,47
57	139,24	125,42	126,70	128,00
67	128,48	114,66	115,85	116,99
87	120,37	106,55	107,75	108,62
107	106,37	92,55	93,52	93,87
127	96,96	83,14	84,16	84,27
147		76,28	77,32	77,37
154		75,32	75,72	75,67

Quadro 6A - Dados de secagem de capim-limão à temperatura do ar de 60 °C e velocidade do ar de 1,0 m.s⁻¹

Tempo (min)	B ₁ (g)	B ₂ (g)	B ₃ (g)	B ₄ (g)
0	225,05	225,04	225,06	225,06
10	177,31	181,14	179,92	181,62
20	141,33	147,22	145,91	149,04
30	121,86	129,03	128,09	132,18
40	105,98	113,66	113,42	117,73
52	86,62	94,18	95,27	98,9
57	81,25	88,24	89,76	93,13
62	77,64	84,3	85,9	89,06
64	75,59	82,18	83,77	86,89
74		75,66	77,37	80,37
77			75,42	78

Quadro 7A - Quadro das massas de óleo obtido nas três repetições extrativas para o tratamento de 60 °C e 1,0 m.s⁻¹ - 1^a parcela do tratamento

	1 ^a repetição	2 ^a repetição	3 ^a repetição
Massa da Amostra	20,002	20,007	20,011
Massa do Óleo (g)	0,1862	0,3281	PERDIDA
Rendimento (%)	0,931	1,64	-----
Rendimento Médio (%)	1,64 (a primeira repetição foi descartada devido a problemas experimentais)		

Quadro 8A - Quadro das massas de óleo obtido nas três repetições extrativas para o tratamento de 60 °C e 1,0 m.s⁻¹ - 2^a parcela do tratamento

	1 ^a repetição	2 ^a repetição	3 ^a repetição
Massa da Amostra	20,005	20,012	20,008
Massa do Óleo (g)	0,2611	0,2055	0,2549
Rendimento (%)	1,3	1,03	1,27
Rendimento Médio (%)	1,2		

Quadro 9A - Quadro das massas de óleo obtido nas três repetições extrativas para o tratamento de 60 °C e 1,0 m.s⁻¹ - 3^a parcela do tratamento

	1 ^a repetição	2 ^a repetição	3 ^a repetição
Massa da Amostra	20,005	20,000	20,008
Massa do Óleo (g)	0,3344	0,2499	PERDIDO
Rendimento (%)	1,67	1,25	-----
Rendimento Médio (%)	1,46		

Quadro 10A - Quadro das massas de óleo obtido nas três repetições extrativas para o tratamento de 60 °C e 1,0 m.s⁻¹ - 4^a parcela do tratamento

	1 ^a repetição	2 ^a repetição	3 ^a repetição
Massa da Amostra	20,002	20,008	20,004
Massa do Óleo (g)	0,4981	0,3369	0,2548
Rendimento (%)	2,49	1,68	1,27
Rendimento Médio (%)	1,48(a primeira repetição foi descartada devido a problemas experimentais)		

Quadro 11A - Quadro das massas de óleo obtido nas três repetições extrativas para o tratamento de 50 °C e 1,0 m.s⁻¹ - 1^a parcela do tratamento

	1 ^a repetição	2 ^a repetição	3 ^a repetição
Massa da Amostra	20,021	20,005	20,004
Massa do Óleo (g)	0,23	0,2778	0,2406
Rendimento (%)	1,15	1,39	1,20
Rendimento Médio (%)	1,25		

Quadro 12A - Quadro das massas de óleo obtido nas três repetições extrativas para o tratamento de 50 °C e 1,0 m.s⁻¹ - 2^a parcela do tratamento

	1 ^a repetição	2 ^a repetição	3 ^a repetição
Massa da Amostra	20,004	20,011	20,009
Massa do Óleo (g)	0,2771	0,2154	0,2660
Rendimento (%)	1,39	1,08	1,33
Rendimento Médio (%)	1,27		

Quadro 13A - Quadro das massas de óleo obtido nas três repetições extrativas para o tratamento de 50 °C e 1,0 m.s⁻¹ - 3^a parcela do tratamento

	1 ^a repetição	2 ^a repetição	3 ^a repetição
Massa da Amostra	20,000	20,011	20,009
Massa do Óleo (g)	PERDIDA	0,3081	0,2745
Rendimento (%)	-----	1,54	1,37
Rendimento Médio (%)	1,45		

Quadro 14A - Quadro das massas de óleo obtido nas três repetições extrativas para o tratamento de 50 °C e 1,0 m.s⁻¹ - 4^a parcela do tratamento

	1 ^a repetição	2 ^a repetição	3 ^a repetição
Massa da Amostra	20,005	20,009	20,009
Massa do Óleo (g)	0,2869	0,2536	PERDIDA
Rendimento (%)	1,43	1,28	-----
Rendimento Médio (%)	1,36		

Quadro 15A - Quadro das massas de óleo obtido nas três repetições extrativas para o tratamento de 40 °C e 1,0 m.s⁻¹ - 1^a parcela do tratamento

	1 ^a repetição	2 ^a repetição	3 ^a repetição
Massa da Amostra	20,011	20,002	20,005
Massa do Óleo (g)	0,2334	0,2643	PERDIDA
Rendimento (%)	1,17	1,32	-----
Rendimento Médio (%)	1,36		

Quadro 16A - Quadro das massas de óleo obtido nas três repetições extrativas para o tratamento de 40 °C e 1,0 m.s⁻¹ - 2^a parcela do tratamento

	1 ^a repetição	2 ^a repetição	3 ^a repetição
Massa da Amostra	20,001	20,002	20,000
Massa do Óleo (g)	0,0603	0,2448	0,2770
Rendimento (%)	0,3	1,12	1,39
Rendimento Médio (%)	1,26(a primeira repetição foi descartada devido a problemas experimentais)		

Quadro 17A - Quadro das massas de óleo obtido nas três repetições extrativas para o tratamento de 40 °C e 1,0 m.s⁻¹ - 3^a parcela do tratamento

	1 ^a repetição	2 ^a repetição	3 ^a repetição
Massa da Amostra	20,009	20,002	20,000
Massa do Óleo (g)	PERDIDA	0,2549	0,2422
Rendimento (%)	-----	1,27	1,21
Rendimento Médio (%)	1,24		

Quadro 18A - Quadro das massas de óleo obtido nas três repetições extrativas para o tratamento de 40 °C e 1,0 m.s⁻¹ - 4^a parcela do tratamento

	1 ^a repetição	2 ^a repetição	3 ^a repetição
Massa da Amostra	20,011	20,001	20,005
Massa do Óleo (g)	0,2427	0,2217	0,2207
Rendimento (%)	1,21	1,11	1,10
Rendimento Médio (%)	1,14		

Quadro 19A - Quadro das massas de óleo obtido nas três repetições extrativas para o tratamento de 60 °C e 0,5 m.s⁻¹ - 1^a parcela do tratamento

	1 ^a repetição	2 ^a repetição	3 ^a repetição
Massa da Amostra	20,005	20,004	20,006
Massa do Óleo (g)	0,2581	0,3217	0,2887
Rendimento (%)	1,29	1,60	1,44
Rendimento Médio (%)	1,44		

Quadro 20A - Quadro das massas de óleo obtido nas três repetições extrativas para o tratamento de 60 °C e 0,5 m.s⁻¹ - 2^a parcela do tratamento

	1 ^a repetição	2 ^a repetição	3 ^a repetição
Massa da Amostra	20,004	20,003	20,008
Massa do Óleo (g)	0,3334	0,3327	0,3336
Rendimento (%)	1,67	1,66	1,67
Rendimento Médio (%)	1,67		

Quadro 21A - Quadro das massas de óleo obtido nas três repetições extrativas para o tratamento de 60 °C e 0,5 m.s⁻¹ - 3^a parcela do tratamento

	1 ^a repetição	2 ^a repetição	3 ^a repetição
Massa da Amostra	20,001	20,011	20,004
Massa do Óleo (g)	0,2498	0,3019	0,1866
Rendimento (%)	1,25	1,51	0,93
Rendimento Médio (%)	1,38(a terceira repetição foi descartada devido a problemas experimentais)		

Quadro 22A - Quadro das massas de óleo obtido nas três repetições extrativas para o tratamento de 60 °C e 0,5 m.s⁻¹ - 4^a parcela do tratamento

	1 ^a repetição	2 ^a repetição	3 ^a repetição
Massa da Amostra	20,001	20,010	20,008
Massa do Óleo (g)	0,2693	0,3116	0,1493
Rendimento (%)	1,35	1,56	0,74
Rendimento Médio (%)	1,38 (a terceira repetição foi descartada devido a problemas experimentais)		

Quadro 23A - Quadro das massas de óleo obtido nas três repetições extrativas para o tratamento de 50 °C e 1,0 m.s⁻¹ - 4^a parcela do tratamento

	1 ^a repetição	2 ^a repetição	3 ^a repetição
Massa da Amostra	20,006	20,002	20,005
Massa do Óleo (g)	0,2835	0,2729	0,1879
Rendimento (%)	1,42	1,36	0,74
Rendimento Médio (%)	1,39 (a terceira repetição foi descartada devido a problemas experimentais)		

Quadro 24A - Quadro das massas de óleo obtido nas três repetições extrativas para o tratamento de 50 °C e 1,0 m.s⁻¹ - 2^a parcela do tratamento

	1 ^a repetição	2 ^a repetição	3 ^a repetição
Massa da Amostra	20,003	20,005	20,003
Massa do Óleo (g)	0,2466	0,2845	0,2922
Rendimento (%)	1,23	1,42	1,46
Rendimento Médio (%)	1,37		

Quadro 25A - Quadro das massas de óleo obtido nas três repetições extrativas para o tratamento de 50 °C e 1,0 m.s⁻¹ - 3^a parcela do tratamento

	1 ^a repetição	2 ^a repetição	3 ^a repetição
Massa da Amostra	20,002	20,000	20,005
Massa do Óleo (g)	0,2548	0,2009	0,2477
Rendimento (%)	1,27	1,00	1,24
Rendimento Médio (%)	1,17		

Quadro 26A - Quadro das massas de óleo obtido nas três repetições extrativas para o tratamento de 50 °C e 1,0 m.s⁻¹ - 4^a parcela do tratamento

	1 ^a repetição	2 ^a repetição	3 ^a repetição
Massa da Amostra	20,001	20,006	20,001
Massa do Óleo (g)	0,2625	0,2415	0,2705
Rendimento (%)	1,31	1,21	1,35
Rendimento Médio (%)	1,29		

Quadro 27A - Quadro das massas de óleo obtido nas três repetições extrativas para o tratamento de 40 °C e 1,0 m.s⁻¹ - 1^a parcela do tratamento

	1 ^a repetição	2 ^a repetição	3 ^a repetição
Massa da Amostra	20,004	20,009	20,000
Massa do Óleo (g)	0,3154	0,2173	0,2837
Rendimento (%)	1,56	1,09	1,42
Rendimento Médio (%)	1,37		

Quadro 28A - Quadro das massas de óleo obtido nas três repetições extrativas para o tratamento de 40 °C e 1,0 m.s⁻¹ - 2^a parcela do tratamento

	1 ^a repetição	2 ^a repetição	3 ^a repetição
Massa da Amostra	20,005	20,009	20,002
Massa do Óleo (g)	0,2330	0,2391	0,2058
Rendimento (%)	1,17	1,19	1,03
Rendimento Médio (%)	1,13		

Quadro 29A - Quadro das massas de óleo obtido nas três repetições extrativas para o tratamento de 40 °C e 1,0 m.s⁻¹ - 3^a parcela do tratamento

	1 ^a repetição	2 ^a repetição	3 ^a repetição
Massa da Amostra	20,011	20,010	20,001
Massa do Óleo (g)	0,2328	0,2440	0,2684
Rendimento (%)	1,16	1,22	1,34
Rendimento Médio (%)	1,24		

Quadro 30A - Quadro das massas de óleo obtido nas três repetições extrativas para o tratamento de 40 °C e 1,0 m.s⁻¹ - 4^a parcela do tratamento

	1 ^a repetição	2 ^a repetição	3 ^a repetição
Massa da Amostra	20,002	20,005	20,002
Massa do Óleo (g)	0,2709	0,2925	PERDIDA
Rendimento (%)	1,34	1,46	-----
Rendimento Médio (%)	1,40		

Quadro 31A - Quadro das massas de óleo obtido nas três repetições extrativas para o produto fresco

	1ª repetição	2ª repetição	3ª repetição
Massa da Amostra	20,005	20,012	20,002
Massa do Óleo (g)	0,0780	0,0680	0,0880
Rendimento (%)	0,39	0,34	0,44
Rendimento Médio (%)	0,39		