

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é detentor de cerca de 23% das espécies vegetais existentes no planeta, sendo considerado o país com a mais rica biodiversidade do mundo. Acredita-se que desses 23%, pelo menos a metade possa ter alguma propriedade terapêutica ou aromática, útil à população.

De acordo com Guerra e Nodari (2001), as oportunidades para a identificação de produtos com possível utilização econômica aumentam com a diversidade das espécies. Essa diversidade de espécies consiste num tesouro biológico de genes, importante matéria-prima para estudos em biotecnologia, atraindo a atenção de empresas farmacêuticas, do *agribusiness*, da química industrial, de cosméticos, etc.

Apesar de toda importância terapêutica e comercial, o Brasil não tem investido nas plantas medicinais como deveria. Embora várias plantas estejam sendo utilizadas com fins terapêuticos, a grande maioria delas não possui dados científicos que comprovem sua eficácia no ser humano ou não estão descritas na farmacopéia brasileira, o que faz com que oficialmente, um médico não possa receitar fitoterápicos à base dessas plantas.

O consumo mundial de plantas medicinais tem sido significativo nos últimos tempos, inclusive com incentivos da Organização Mundial da Saúde (OMS). Dados recentes indicam que aproximadamente 80% da população mundial faz uso de algum tipo de erva na busca de alívio de alguma sintomatologia desagradável. Desse total, pelo menos 30% foi por indicação médica. São muitos os fatores que colaboram para o desenvolvimento de práticas de saúde que incluam plantas medicinais, principalmente econômicos e sociais (SILVA e CASALI, 2000).

Atualmente, apenas 119 substâncias derivadas de plantas usadas para fins medicinais são obtidas de cerca de 90 espécies. Desses 119 compostos químicos, 74% têm o mesmo uso ou uso parecido com o das plantas na medicina popular (BRAZ-FILHO, 1994; CASTRO e FERREIRA, 2001).

Segundo a Organização Mundial da Saúde, para ser considerada medicinal, a planta deve possuir em um de seus órgãos ou em toda a planta substâncias com propriedades terapêuticas ou que sejam ponto de partida na síntese de produtos químicos ou farmacêuticos (SILVA e CASALI, 2000).

As plantas medicinais têm sido usadas no controle de diversas doenças por populações de todos os continentes. O mercado atual de fitofármacos e fitoterápicos é da ordem de US\$ 9 a 11 bilhões por ano, sendo que mais de 13.000 plantas são mundialmente usadas como fármacos ou fonte de fármacos (Tyler, citado por FRANÇA, 2003).

Almassy Junior (2000) citou que existem, atualmente, mais de 2.000 programas governamentais de adoção a fitoterapia no atendimento aos usuários do Sistema Único de Saúde (SUS).

A principal forma de comercialização das plantas medicinais é na forma desidratada, o que garante uma conservação do produto por um longo período de tempo.

De acordo com Charles e outros (1993) o efeito da secagem sobre os constituintes químicos voláteis de várias plantas aromáticas e de outros 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 maioria dos metabólitos secundários pode ser alterada tanto por fatores ambientais, bem como por procedimentos pós-colheita.

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).

Embora existam no mercado produtos desidratados a base de ervas, não se encontrou na literatura trabalhos sobre os efeitos da secagem na conservação do Manjericão.

O *Ocimum basilicum* L. é originário do norte da Índia e age como estimulante digestivo, antiespasmódico, antisséptico e béquico (MARTINS e outros, 1994). A maioria das suas propriedades advém do seu óleo essencial, cujos constituintes principais são eugenol, timol, estragol, metilchavicol, linalol e cânfora.

Os princípios ativos são grupos ou classes de substâncias que conferem ação terapêutica às plantas medicinais. No caso do *Ocimum basilicum*, conhecido popularmente como manjericão, o grupo de substâncias de importância, com finalidades terapêuticas, condimentar e econômica, é o óleo essencial.

O teor de óleo essencial e, portanto, as propriedades terapêuticas e condimentares podem sofrer alterações decorrentes de diversos fatores, como: método de secagem, tratamento pós-colheita, época do ano, horário de colheita e local de cultivo (SILVA e CASALI, 2000; HALVA e outros, 1988; NYKANEN, 1989; RANDHAWA e SINGH, 1991; CANTWELL e REID, 1994; CURT e outros, 1993), refletindo o efeito do meio e dos processos de pós-colheita sobre a produção dos fármacos (CORREA JÚNIOR e outros, 1994; MARTINS e outros, 1994).

Como foi visto nas considerações iniciais, o mercado de plantas medicinais movimenta um volume monetário significativo no mundo e no Brasil. Atualmente, o país exporta ipê-roxo, espinheira-santa, erva-de-bicho, fáfia, catuaba, chapéu-de-couro, capim-limão e erva-príncipe, principalmente para os Estados Unidos e Itália (ABIFITO, 2005).

Em contrapartida, o Brasil importa mais de 1,5 mil toneladas por ano de folhas secas de sálvia, arnica, ginkgo, babosa, arruda, erva-doce, alcaçuz, alfazema e até cabelo de milho que são usados como diuréticos, além de extratos e essências para atender as necessidades da indústria nacional (WILKE, 2003).

As indústrias de cosméticos e de medicamentos são os principais importadores, devido a irregularidade na oferta e a baixa qualidade dos produtos nacionais, o que faz com que a pesquisa com plantas medicinais muito importante, garantindo com isso mais informação aos produtores e um produto final de melhor qualidade.

Sendo assim, faz-se necessário o incentivo à produção e a pesquisas em todas as áreas da cadeia produtiva de plantas medicinais, garantindo uma boa qualidade do produto e conseqüentemente um melhor preço. Esse aumento de valor agregado pode ser garantido com a secagem uma vez que esta garante uma maior conservação do produto, garantindo com isso uma regularidade na oferta, mas para que isso aconteça pesquisas na área de secagem, como por exemplo a combinação da temperatura e a velocidade do ar de secagem ideal para a maior conservação dos constituintes das plantas medicinais, devem ser aprofundadas e estendidas à cada espécie.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Importância das plantas medicinais

A utilização das plantas medicinais pelo homem é hábito antigo, sendo difundido em todos os continentes desde a origem das civilizações. Esse uso das plantas na cura de doenças levou a um acúmulo de conhecimento terapêutico popular, que auxiliou na descoberta de diversos medicamentos usados na medicina.

Em 1978, a Organização Mundial de Saúde (OMS) reconhece a fitoterapia como terapia alternativa de eficácia comprovada (VIEIRA, 1992). De acordo com a OMS, 80% da população mundial faz uso de alguma planta medicinal ou aromática, dos quais 30% são por indicação médica. São muitos os fatores que colaboram para o desenvolvimento de práticas de saúde que incluam plantas medicinais, principalmente econômicos e sociais (SILVA e CASALI, 2000).

No entanto, as informações sobre o consumo mundial não são precisas, havendo grandes variações entre as diferentes fontes. Provavelmente a informalidade na produção e na comercialização (hortas caseiras para consumo doméstico) impossibilite a obtenção real do consumo.

Estimativas avaliam o mercado mundial em US\$ 12,4 bilhões, sendo a Europa responsável por aproximadamente 50%. Fitoterápicos e fitofármacos são responsáveis por 25% do receituário médico nos países desenvolvidos e cerca de 80% nos países em desenvolvimento (Cragg e outros, citados por GUERRA e NODARI, 2003). De acordo com Wilke (2003), se fizermos uma estimativa, considerando o consumo em todo mundo, praticado nas mais remotas regiões do

planeta e, em todos os fundos de quintais, hortos comunitários e outras explorações não comerciais, o valor global da receita pode ultrapassar cifras de US\$ 400 bilhões.

Segundo a Associação Brasileira da Indústria Fitoterápica (ABIFITO, 2005), o mercado brasileiro de fitoterápicos movimenta aproximadamente US\$ 400 milhões ao ano, conforme dados do Programa de Estudos do Futuro (Profuturo), da Fundação Instituto de Administração da Universidade de São Paulo (FIA), de 2002. Ainda segundo o estudo, a previsão para 2010 é de que o faturamento nacional do setor alcance US\$ 1 bilhão, tendo as farmácias como principais canais de distribuição (81%), seguidas das lojas de produtos naturais (63%), lojas de suplementos alimentares e vitamínicos (50%), dos supermercados (44%), hospitais (9%) e das feiras livres (9%).

Ainda segundo a ABIFITO, o setor movimenta cerca de R\$ 1 bilhão em toda a sua cadeia produtiva, e emprega, atualmente, mais de 100 mil pessoas. Uma outra razão para o crescente interesse pelos fitoterápicos está vinculada a maior segurança oferecida pelos fitoterápicos devido aos menores efeitos colaterais apresentados.

Além disso, são grandes as dificuldades atuais para se desenvolver novas drogas de síntese, pois esse processo está mais difícil e extremamente caro, por exemplo, nos últimos 20 anos o lançamento no mercado de um novo fármaco sintetizado tem demandado investimentos da ordem de 500 a 600 milhões de dólares e, em um espaço de tempo nunca inferior a 10 ou 15 anos. Já um novo fitoterápico, de qualidade, pode chegar ao mercado num tempo máximo de cinco anos, demandando investimentos da ordem de 2 a 3 milhões de dólares (REVISTA BRASILEIRA DE MEDICINA, 2002).

Avaliando a situação desse mercado promissor, verifica-se que os processos de extração de substâncias terapêuticas de plantas medicinais brasileiras vêm sendo patenteados por empresas multinacionais, uma vez que

estas estão tecnologicamente capacitadas. Como exemplo, pode-se citar a Merck, que possui plantações próprias de jaborandi e fava-d'anta, para extração de pilocarpina e rutina, respectivamente, que são comercializadas no mercado externo (ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS, 1998).

A indústria nacional necessita 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 manjeriço (*Ocimum basilicum* L.)

Pertencentes a família Lamiaceae, as espécies do gênero *Ocimum* estão disseminadas no Brasil. São plantas conhecidas popularmente como manjeriço ou alfavacas (KAMADA, 1998; MARTINS e outros, 1994; JORGE e outros, 1992). O gênero envolve cerca de 160 espécies, distribuídas em regiões tropicais e subtropicais da África, Ásia e América do Sul (GUPTA, 1994).

No Brasil, presume-se a existência de 11 espécies, e a folhagem é a parte econômica, possuindo tricomas glandulares, onde ocorrem a síntese e o armazenamento do óleo essencial (GUPTA, 1994). A planta é perene e chega a 1 m de altura, tendo folhas largas e aromáticas, com flores brancas e róseas.

O nome vem do grego “Basilikon” e quer dizer “real”, ou “régia”. Supõe-se que na antigüidade a planta tenha sido utilizada no preparo de um bálsamo curativo exclusivamente real. Sua essência floral, *Basilicum*, é utilizada nos estados de melancolia e fixação mental obsessiva (SILVA e MARQUES, 1997).

Os principais constituintes químicos do manjeriço são taninos, flavonóides, saponinas, cânfora, e no óleo essencial: timol, estragol, linalol, eugenol, cinelol e pireno (MARTINS, 1996).

Para produção de folhas de manjeriço, a colheita deve ser feita no outono (março) e para produção de sumidades floridas, no verão (pico em janeiro). Deve ser feita em horas sem orvalho e as plantas colhidas devem ser levadas imediatamente para a secagem completa se sua finalidade for a de fitoterápico ou condimento seco, ou para uma pré-secagem se forem destinadas à destilação do óleo essencial (CASTRO e CHEMALE, 1995).

2.3 Secagem de plantas medicinais

Na secagem de ervas medicinais, o alto teor de umidade inicial das plantas implica em valores significativos de consumo de energia, ou seja, valores da ordem de 10 MJ por kg de água evaporada (MELO e outros, 2002). Assim sendo, produzir economicamente plantas medicinais e aromáticas requer a redução dos custos com energia durante a secagem. A secagem em temperaturas elevadas pode consumir 60% ou mais do total de energia usada na produção de produtos agrícolas (MULLER e outros 1992).

Limitadas informações estão disponíveis na literatura sobre os efeitos da temperatura e umidade do ar de secagem na qualidade de princípios ativos de plantas medicinais durante o pré-processamento. Segundo Martins (2000), os teores de óleos essenciais das folhas de capim-limão, sob secagem artificial em laboratório, foram em geral superiores àqueles das folhas recém colhidas. De acordo com Culpeper (1999), as plantas submetidas a secagem natural na Índia, aumentaram o conteúdo de óleo em relação a matéria seca, mas houve perdas na composição do óleo essencial, devido a volatilização em condições naturais de secagem.

Segundo Martins e outros (1995), a secagem pode ser conduzida em condições de temperatura ambiente ou artificialmente com uso de estufas, secadoras, etc. Dependendo do método utilizado e do órgão da planta a ser dessecado, tem-se uma necessidade de área útil do secador variável entre 10 e 20% da área colhida.

Para a secagem de plantas medicinais com fins de comercialização são utilizados basicamente três tipos de secadores: o secador de temperatura ambiente, o secador de temperatura e umidade controlada e os secadores especiais.

O uso de forno de microondas também é uma alternativa para secagem das plantas. As folhas mais tenras e suculentas levam cerca de 3 minutos na secagem, e as ervas com folhas pequenas, mais secas, apenas 1 minuto. Por esse método preserva-se a cor e aroma das folhas.

De acordo com Hansen (1993), 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. Ainda segundo este autor, a alta sensibilidade do princípio biologicamente ativo e sua preservação no produto final são, sem dúvida, o maior problema da secagem e armazenamento de plantas medicinais e aromáticas.

A farmacopéia britânica, egípcia, belga, espanhola, suíça, americana e russa recomendavam, desde a década 70, a faixa de temperatura ótima de 55 a 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 e outros (1974), onde foi analisado 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 conteúdo em glicosídeos. Concluiu-se que o melhor método de secagem, associado as menores perdas em componentes químicos foi a secagem em estufa na faixa de temperatura de 55-60°C, apesar das folhas secas à sombra terem mantido melhor coloração e aparência em relação àquelas secas ao sol e em estufa.

A maioria dos trabalhos de secagem realizados a partir da década de 70 comparava os métodos de secagem ao sol e à sombra com a secagem em estufa com circulação forçada de ar. Os resultados obtidos por El Masr (1976), trabalhando com folhas picadas de beladona (*Atropa beladonna*) 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 capim-limão (*Cymbopogon citratus*), descritos por Guenther (1972), concluíram que a secagem por um período de cinco dias consecutivos resultou em menor rendimento de óleo essencial, mas com maior teor de citral, seu componente principal. Dessa forma, a secagem tornou-se parte do pré-processamento do capim-limão nas destilarias produtoras de óleo essencial.

El Fattah e outros (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 o rendimento em óleo essencial e o seu teor em citral com o produto fresco. Concluíram que, no capim-limão, a secagem ao sol resulta em: menores perdas em teor de citral, e 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 planta medicinal e aromática.

Charles e outros (1993), estudaram 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*, comparada 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 pesquisas mais recentes sobre secagem de plantas medicinais têm sido direcionadas para o estudo dos 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; d) pressão estática em função da altura da camada do produto.

Em relação à altura da camada, Skrubis (1992) estudou as alturas de 5, 7,5 e 10cm de folhas de louro (*Laurus nobilis*) trabalhando com secagem em estufa com temperaturas de 40, 50, 60 e 70°C. Observou a 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 da camada pela metade, aumentando as taxas de secagem aproximadamente quatro vezes, secando *Bidens tripartitus* a 100°C. Secando *Menta piperita* a 60°C, a mesma variação na altura da camada permitiu o aumento de 20 vezes na taxa de secagem. Essas avaliações permitiram recomendar a altura de 80-100 mm de folhas para a secagem de três espécies: *Matricaria chamomilla*, *Bidens tripartitus* e *Menta piperita*.

A velocidade do ar de secagem é outro parâmetro de extrema relevância no processo. Segundo Silva e outros (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 e outros (1993) utilizaram velocidade de $0,039 \text{ m.s}^{-1}$ num secador de leito fixo, trabalhado com camada delgada de raspas de *Taxus hicksii*. Na secagem de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.), a velocidade utilizada por Baritoux e outros (1992) foi de $0,4 \text{ m.s}^{-1}$. Muller e outros (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°C , Venskutonis e outros (1996) descreveram o aumento de 213 mg/Kg no produto fresco para 288 mg/Kg no produto seco, em relação a concentração de β -cariofileno. Venskutonis (1997), comparando a secagem de tomilho e sálvia observou o aumento de 29% no teor de β -cariofileno no tomilho seco a 30°C , o que não ocorreu com a sálvia em relação ao seu componente principal. Hansen e outros (1993), constataram que as melhores concentrações de taxol foram observadas na temperatura de secagem de 60°C , a mais alta utilizada no referido experimento.

Correa e outros (2001), considerando a necessidade de se estudar os processos de sorção em plantas medicinais e aromáticas, e pelo quadro de escassez de informações na literatura para diversas espécies, conduziram trabalho com objetivo de propor um novo modelo matemático para teor de umidade de equilíbrio para as seguintes espécies: guaco, confrei, alcachofra, maracujá e capim-limão. As plantas foram submetidas a dessorção sob quatro condições de temperatura ($25, 35, 45$ e 55°C) e quatro níveis de umidade relativa do ar ($0,20; 0,40; 0,60$ e $0,75$) até atingirem o teor de umidade de equilíbrio. Concluíram que o modelo matemático proposto com suas constantes

determinadas foi o que apresentou um ajuste satisfatório aos dados experimentais para todas as espécies estudadas.

Radünz e outros (2002) estudaram a influência da temperatura do ar de secagem sobre a composição química do óleo essencial extraído do alecrim pimenta (*Lippia sidoides* Cham). Utilizaram a planta fresca (testemunha), secagem com ar ambiente e ar aquecido a 40, 50, 60 e 70 °C em secador experimental de camada delgada com 0,10 m de espessura. A velocidade média do ar empregada foi 1 m.s⁻¹. O teor de umidade inicial foi 66,3% sendo o produto seco até aproximadamente 11%, armazenando-os imediatamente à temperatura ambiente. Concluíram que os teores de *p*-cimeno e timol, presentes no óleo essencial não sofreram variações significativas em função das temperaturas de secagem empregadas, relativamente ao controle. Entretanto, o teor de cariofileno apresentou aumento significativo quando submetidos as temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

Radünz e outros (2003) avaliaram a influência da temperatura do ar de secagem sobre a quantidade de óleo essencial extraído do guaco. Para a realização dos testes utilizou-se um secador à gás (GLP) de camada fixa. Os tratamentos consistiram de 4 temperaturas para o ar de secagem (ar ambiente e ar aquecido a 40, 55 e 70 °C). As folhas de guaco com teor de água inicial de aproximadamente 81% b.u. foram secas até atingir o teor de água final de aproximadamente 10% b.u. Concluíram que a utilização da temperatura igual a 55°C para o ar de secagem não influenciou estatisticamente na quantidade de óleo essencial extraído.

O material oriundo da secagem de ervas está pronto para ser embalado e guardado quando começa a ficar levemente quebradiço. O teor de umidade ideal após a secagem deve ser de 5 a 10% para folhas e flores. Para cascas e raízes esta umidade varia entre 12 e 20% (MARTINS e outros, 1994). O

acondicionamento do material vai depender do volume produzido e do tempo que se pretende armazená-lo.

Para a predição da redução do teor de umidade no processo de secagem, seja ele simples ou sofisticado, é necessária uma equação de secagem em camada fina. A gama de equações disponíveis é muito grande e as curvas de secagem que elas originam podem apresentar valores que diferem entre si em até três vezes (HIEN e outros, 2003).

De acordo com Tanco e outros (2005) são muito raras as publicações de curvas de secagem para ervas e outras folhagens, sendo a maioria das publicações voltada para grãos e outras culturas de grande interesse agrônomico. Estes autores secaram artemísia (*Tanacetum parthenium*, L) em três diferentes temperaturas (30, 45 e 60 °C) e verificaram o ajuste das equações de Lewis e Page para a secagem em camada fina desta erva, e concluíram que esta última equação ajustou-se melhor aos dados que a primeira.

Os modelos de secagem em camada fina, que descrevem o fenômeno de secagem de produtos agrícolas se dividem em três categorias: teóricos, semi-teóricos e empíricos (PANCHARIYA e outros, 2000).

O estudo teórico fundamenta-se em equações de transferência simultânea de calor e massa. Nos modelos semi-teóricos, os parâmetros dos modelos teóricos são gerados empiricamente. Os modelos teóricos levam em consideração a resistência interna do material à transferência de umidade, enquanto nos modelos semi-teóricos e empíricos, a resistência externa entre o produto e o ar é que é correlacionada com a transferência de umidade (HENDERSON, 1974). Por outro lado, as equações empíricas dependem somente de dados experimentais sendo, portanto, de mais fácil obtenção e devem ser usados até que se consiga chegar a um modelo semi-teórico ou teórico (AFZAL & ABE, 2000).

Akpinar (2005) estudou o comportamento da secagem de pedaços de berinjela (6mm de espessura) em um secador tipo ciclone. O experimento foi conduzido com o ar nas temperaturas de 55, 65 e 75°C e nas velocidades do ar de 1 e 1,5 m.s⁻¹. De forma a estimar e selecionar a melhor curva de secagem para a berinjela, oito modelos diferentes, semi-teóricos ou empíricos foram ajustados aos dados experimentais e foram feitas comparações nos seus coeficientes de determinação fornecidos pela análise de regressão não linear. O modelo de Page foi o que apresentou o melhor ajuste, com um coeficiente de determinação de 0,9999.

Panchariya e outros (2000) construíram um secador experimental para determinação da cinética de secagem de folhas de chá. Estes autores usaram temperaturas na faixa de 80 a 120°C e velocidades do ar na faixa de 0,25 a 0,65 m.s⁻¹. Os dados de secagem foram ajustados aos seguintes modelos semi-teóricos e empíricos de secagem Lewis, Page, Page modificado, Dois termos e modelo de Henderson e Pabis. Concluíram que o modelo de Lewis forneceu melhores predições que os outros e que este modelo descreveu satisfatoriamente as características da secagem em camada fina de partículas (folhas trituradas) de chá.

Doymaz (2005a) ajustou os modelos de Lewis, Henderson e Pabis, de Page e Logarítmico na secagem de folhas de menta e concluiu que todos os modelos forneceram altos coeficientes de determinação (na faixa de 0,9826 a 0,9996) o que, segundo este autor, indica que todos os modelos podem descrever, satisfatoriamente a secagem das folhas de menta. Porém, o modelo logarítmico foi considerado o melhor, porque apresentou o maior coeficiente de determinação, os menores valores de χ^2 e da raiz quadrada do erro médio quadrático (RMSE).

2.4 Óleos essenciais

A International Standard Organization, citada por Simões e Spitzer (2003), considera os óleos essenciais como constituintes da categoria de princípios ativos produzidos por vegetais, caracterizados por serem separáveis pelo arraste a vapor e produzidos em estruturas anatômicas e celulares definidas, como cavidades e pêlos glandulares. De forma geral, são misturas complexas de substâncias lipofílicas, geralmente odoríferas e líquidas.

Os princípios biologicamente ativos das drogas procedem do metabolismo das plantas, constituindo-se em muitos casos, em respostas dos mecanismos de interação com o ambiente (CASTRO e FERREIRA, 2000).

Os metabólitos secundários são o resultado da especialização celular e que suas manifestações durante certas fases do desenvolvimento do organismo produtor se devem a expressão diferencial dos genes (GOTTLIEB e outros, 1996).

Os óleos essenciais têm papel na atração de agentes polinizadores, de defesa contra herbívoros, como reguladores da taxa de decomposição da matéria orgânica no solo e como agentes antimicrobianos. Industrialmente, podem ser utilizados como antioxidante ou aromatizante dos alimentos, entre outros usos (DEANS e WALTERMAN, 1993). Os óleos essenciais são geralmente armazenados isolados do processo fisiológico normal das plantas, em espaços extracelulares de glândulas ou ductos (DEANS e WALTERMAN, 1993).

Os constituintes dos óleos voláteis variam desde hidrocarbonetos terpênicos, álcoois simples e terpênicos, aldeídos, cetonas, fenóis, ésteres, éteres, óxidos, peróxidos, furanos, ácidos orgânicos, lactonas, cumarinas, até compostos como enxofre (CASTRO e FERREIRA, 2000).

Os compostos encontrados nos óleos essenciais são importantes na elaboração de produtos naturais nas indústrias farmacêuticas, alimentícias e de cosméticos (CHARLES e SIMON, 1990).

Na mistura, tais compostos apresentam-se em diferentes concentrações, normalmente, um deles é o composto majoritário, existindo outros em menores teores e alguns em baixíssimas quantidades (traços). Por exemplo, o 1,8-cineol (eucaliptol) é o principal composto do óleo de eucalipto e, geralmente, seu teor é em torno de 80%, entretanto, esta mesma substância foi detectada no óleo de bergamota numa concentração 40.000 vezes menor do que no óleo de eucalipto, ou seja, em torno de 0,002%. Assim, nesses casos, diz-se que este composto é um constituinte traço do óleo de bergamota (SIMÕES e SPITZER, 2003).

Em geral, as espécies apresentam épocas específicas em que contêm maior quantidade de princípio ativo no seu tecido, podendo esta variação ocorrer tanto no período de um dia como em épocas do ano (REIS e outros, 2003).

O grande número e a diversidade de substâncias incluídas nos óleos essenciais é que determinam a ampla variedade de ações farmacológicas. As propriedades dos óleos são variadas: antivirótico, antiespasmódico, analgésico, bactericida, cicatrizante, expectorante, relaxante, vermífugo, etc. O mentol, da hortelã (*Mentha piperita*), tem ação expectorante e anti-séptica; o timol e o carvacrol, encontrados no tomilho (*Thimus vulgaris*) e no alecrim-pimenta (*Lippia sidoides*), são anti-sépticos; o eugenol, do cravo-da-índia (*Syzygium aromaticum*), é um anestésico local e analgésico; e o ascaridol, presente na erva-de-santa-maria (*Chenopodium ambrosioides*) é vermífugo (MARTINS e outros, 2002).

Gokte e outros (1993) observaram que a concentração de 100 ppm do óleo essencial de *Ocimum sanctum* e *O. basilicum* demonstrou ação nematicida em *Meloidogyne incognita*, *Heterodera avenae*, *H. cajano* e *H. zae*. Esse efeito nematicida foi atribuído aos constituintes metilchavicol e linalol. O óleo

essencial extraído das folhas de *O. basilicum*, em concentração de 3.000 ppm, demonstrou efeito fungistático sobre os patógenos da cana-de-açúcar, como *Colletotricum falcatum*, *Curvularia pallescens* e *Periconia atropurpurea* (RAO e outros, 1992).

Existem registros de importações realizadas na Holanda e Alemanha de 800 t/ano de folhas secas de *Ocimum* para extração de óleo, provenientes do Egito, Marrocos e da Albânia. Os EUA têm importado de 30-50 t/ano de óleo de *Ocimum* da Índia (GUPTA, 1994).

O óleo essencial de manjeriço é importado e comercializado no Brasil em pequenas quantidades, atingindo valores de US\$ 41 a US\$ 50 o kg/FOB (George, 1995, citado por TEIXEIRA e outros, 2000).

Os programas de melhoramento de *Ocimum* visam aumentar a produção de óleo essencial e a obtenção de cultivares adaptáveis às condições de plantio (KAMADA, 1998), pois a qualidade da planta de manjeriço é definida pela composição do seu óleo essencial, que depende de sua origem geográfica (PETROPOULOS e VLACHOU, 1995).

Segundo Kamada (1999), em manjeriço (*Ocimum* spp.), verificou-se influência ambiental significativa no aspecto quantitativo da produção dos constituintes químicos, tornando necessária a avaliação dos efeitos fitoterápicos de acordo com o ambiente de desenvolvimento da planta.

A época de colheita deve ser determinada visando não só do volume do material vegetal colhido, mas também ao teor mínimo de princípios ativos, sem o qual o produto não tem valor na produção de fitoterápicos (AMARAL e outros, 1999).

O momento da colheita pode alterar a concentração e a composição do óleo essencial (MATOS, 1996). Recomenda-se, usualmente, como o melhor horário de colheita o período da manhã, pois fornece óleo mais aromático do que quando efetuada nos horários mais quentes do dia (HERTWIG, 1986).

Em gêneros como *Melissa* e *Mentha*, há recomendações sobre a colheita das plantas com a finalidade de extração de seus óleos essenciais em épocas próximas ou na própria floração (CORREA JÚNIOR e outros, 1994), pois é essa a época em que as plantas produzem maior quantidade de princípios ativos (CASTRO, 1997).

Vasconcelos Silva e outros (1999) observaram que houve variação do teor de eugenol em folhas de *Ocimum gratissimum* (alfavacão), atingindo o máximo do teor de óleo essencial (98%) às 12:00h, decrescendo durante o dia e atingindo 11% às 17:00h, o que demonstra, dessa forma, que existe influência da luz solar e da temperatura sobre essa substância.

Martins e outros (1994) citaram que os alcalóides e os óleos essenciais encontram-se com maior frequência de manhã. Tal fato foi confirmado no estudo de *Ocimum selloi* Benth (eligir-paregórico), que apresentou maior teor de óleo essencial quando colhido às 07:00h do que às 16:00h (MARTINS, 1996).

Porém, Bonnardeaux (1992) observou que plantas de *Ocimum basilicum* colhidas em plena floração apresentavam maior teor de óleo essencial do que antes do florescimento e que havia variações significativas no teor de óleos essenciais e de seus constituintes, ocorrendo o desaparecimento do eugenol no final da tarde.

Lemberkovics e outros (1996) verificaram aumento no teor de óleo essencial durante a ontogenia de manjeriço (*Ocimum basilicum*), comprovando que o máximo de princípio ativo ocorre antes do florescimento e que há diferenças na composição química dos componentes do óleo essencial de acordo com o estágio de desenvolvimento do vegetal. Antes do florescimento, há predominância do linalol, monoterpeneo do metilchavicol e de dois sesquiterpenos.

A composição química do óleo essencial nas espécies de *Ocimum* apresenta, predominantemente, monoterpeneos e sesquiterpenos. As espécies

mais conhecidas apresentam metilchavicol, eugenol, linalol, 1,8- cineol (BARITAUZ e outros, 1992), cinamato de metila (PEREZ e outros, 1995), geraniol (CHARLES e SIMON, 1990) e timol (NTEZURUBANZA e outros, 1984) como constituintes majoritários.

Os estudos desenvolvidos com o óleo essencial do gênero *Ocimum* têm visado tanto a exploração do seu efeito inibitório da atividade de microrganismos - atuando como fitoalexinas e combatendo patógenos - quanto os aspectos relacionados a sua produção (KAMADA, 1998).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Experimento 1: Secagem do manjeriço a 40, 50, 60, e 70°C com duas velocidades do ar de secagem: 0,006 e 0,02 m³.s⁻¹

Os ensaios de secagem foram realizados no Laboratório de Secagem do Módulo de Laboratórios da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – Campus Juvino Oliveira em Itapetinga, durante o período de 19 a 26 de setembro de 2005.

As plantas de *Ocimum basilicum* L. foram cultivadas na área experimental de agrometeorologia da UESB (data do plantio: 13/06/2005), localizado no município de Itapetinga, Ba, situado a Latitude de 15°18'S e Longitude 40° 15'W, temperatura média anual de 27 °C, altitude média de 268 m e clima segundo a classificação de Köppen caracterizado como Aw (quente e úmido com estação seca de inverno).

As análises físico-químicas do solo registraram níveis satisfatórios de nutrientes, sendo realizadas adubações orgânicas (esterco bovino) durante o ciclo da cultura. Utilizou-se sementes da Feltrin Sementes, semeadas em sementeiras (13 de junho de 2005), sendo transplantadas quando atingiram 0,10 m de altura para canteiros previamente preparados. As mudas foram colocadas em covas de 0,15 m de profundidade, no espaçamento de 0,50 m entre plantas e 0,50 m entre linhas.

Os tratos culturais realizados no campo foram a capina manual, irrigação por aspersão, uma vez ao dia, e as inflorescências foram retiradas durante todo o ciclo. Além disso, as plantas foram tutoradas com bambu e amarradas com barbante, quando atingiram 0,60 m de altura, pois estavam

sujeitas ao tombamento e a abertura da planta devido à ação do vento, da chuva ou pelo próprio peso das plantas.

A colheita do material foi realizada no período de 19 a 26 de setembro de 2005, das 07:00 às 08:00 horas da manhã, devido a maior concentração do óleo essencial pela manhã (MARTINS, 1994). O material foi encaminhado para o Laboratório de Secagem, para seleção e determinação do teor de umidade.

3.1.1 Seleção e determinação do teor de umidade

As folhas foram selecionadas, removendo-se partes doentes, danificadas e ou atacadas por insetos.

Os teores de umidade iniciais das folhas de manjerição foram determinados imediatamente após a coleta e no final do processo de secagem. Utilizou-se a metodologia recomendada pela ASAE STANDARDS (ASAE, 2000) para forrageiras e similares (plantas ou folhas) utilizando-se 20 g de amostra em três repetições, em estufa com circulação forçada do ar e com temperatura de 103 ± 2 °C, durante 24 horas. A utilização desse método foi devido a falta de uma metodologia padrão no Brasil para a determinação do teor de umidade para as plantas medicinais, aromáticas e condimentares.

Devido a falta de metodologia, o momento de finalizar o processo de secagem foi calculado matematicamente, obtendo-se a massa final desejada através da Equação 1. O teor de água inicial foi, previamente, determinado pelo método gravimétrico (ASAE STANDARDS) e o final máximo foi fixado em 11% b.u., pois segundo Farias (2003), o teor estabelecido nas diferentes farmacopéias varia entre 8 e 14% b.u., havendo poucas exceções.

Equação 1:

$$mf = mi \times \left(\frac{100 - tai}{100 - taf} \right)$$

Onde: mf = massa final, em gramas;
mi = massa inicial, em gramas;
tai = teor de água inicial (%b.u.);
taf = teor de água final (%b.u.).

3.1.2 A Secagem

Para a realização dos tratamentos de secagem das folhas de manjeriço foi utilizado um secador desenvolvido no Laboratório de Secagem da UESB, Campus de Itapetinga, apresentado na Figura 1. No anexo 1 é mostrada uma planta de detalhes do mesmo.



Figura 1 – Secador utilizado no experimento.

O secador foi feito com estrutura interna de perfis e chapas de alumínio, sendo a câmara de secagem revestida com chapas maderite de 15 mm de

espessura. O secador conta com um ventilador centrífugo (adaptado de um aparelho de ar condicionado de 10000 Btu's, marca Elgin) acionado por motor elétrico de 1/2 CV, com 700 rpm. O aquecimento do ar é feito por resistências elétricas blindadas do tipo usado em aquecedores de óleo para cozimento. São duas resistências de 3000 Watts, cada.

Durante a operação do secador, o ar de secagem é insuflado pelo ventilador, situado no duto próximo ao plenum que tem a forma de "V" deitado visando uma melhor distribuição do ar de secagem através da massa de plantas. A câmara de secagem tem, em seu interior, 5 bandejas quadrangulares, construídas em alumínio e tela de aço galvanizado, com 0,75m de lado.



Figura 2 - Fotos do interior do secador: Câmara de secagem com 5 bandejas (A) e sistema de aquecimento (B).

O controle do aquecimento de ar é feito por um controlador digital de temperatura (Full Gauge TIC107P), acoplado a uma chave contactora (Siemens 3TF43 11-OA) que liga e desliga o sistema de resistências quando estas chegam à temperatura ajustada. O sensor do controlador de temperatura foi colocado 6cm à frente da última resistência elétrica, no sentido da passagem do ar.

A velocidade do ar de secagem foi monitorada por um anemômetro digital de pás rotativas, modelo Thal-300 da Instrutherm, com precisão de $\pm 3\%$. O controle de temperatura, na câmara de secagem, foi realizado por um termômetro digital portátil com cinco sensores com $\pm 3\%$ de precisão (Full Gauge Penta Five Sensors). Os sensores foram colocados no plenum, sob as bandejas e na saída do ar de secagem (exaustão). A umidade relativa do ar foi monitorada na câmara de secagem e no ambiente externo por meio de termo higrômetro digital, com precisão de $\pm 3\%$ (modelo Thal-300 da Instrutherm).

As pesagens das folhas de manjeriço foram feitas em intervalos regulares de 15 minutos, em balança semi-analítica (Gehaka BG 4400 com precisão de $\pm 0,01/0,1\text{g}$). Cada bandeja foi carregada, no início da secagem, com 100 g de folhas frescas.

As plantas colhidas foram submetidas a secagem em 4 temperaturas (40, 50, 60 e 70 °C) e 2 velocidades do ar de secagem (0,006 e 0,02 $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$). O experimento foi conduzido empregando-se o delineamento inteiramente casualizado, em um esquema fatorial (4 x 2) com quatro repetições.

3.1.3 Determinação das curvas de secagem

Aceita-se que o fenômeno de secagem de produtos biológicos durante o período de queda na taxa de secagem, é controlado pelo mecanismo de difusão de líquido e ou de vapor. Este mecanismo sugere que uma forte transferência de massa com a difusão sendo o fenômeno que controla o processo. Assumindo-se que a resistência ao fluxo de umidade seja uniformemente distribuída no interior do material, considerado homogêneo e isotrópico, o coeficiente de difusão D é dependente do teor de umidade local e, considerando-se a variação de volume como sendo desprezível, a segunda lei de Fick pode ser derivada como (KHRAISHEH e outros, 1997):

Equação 2:

$$\frac{dM}{dt} = D \frac{d^2 M}{dr^2}$$

sendo M o teor de umidade local (kg de água/kg de sólidos secos), r é o caminho de difusão (m), t é o tempo (s) e D é a difusividade ($m^2 \cdot s^{-1}$) assumida como independente do teor de umidade.

Crank (1975) deduziu soluções analíticas da equação (2) para corpos de diversos formatos, tais como retangular, cilíndrico e esférico.

Com as condições iniciais e de contorno apropriadas, quais sejam:

$$\begin{array}{lll} \text{em } t=0; & 0 < r < L; & M = M_i; \\ \text{em } t > 0; & r=0; & \frac{dM}{dr} = 0; \\ \text{em } t > 0; & r = L; & M = M_e \end{array}$$

A solução para a Equação (2) para uma fatia com difusividade constante D, em termos de série infinita é dada por (Equação 3):

Equação 3:

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_i - M_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{1}{(2n+1)^2} \right] \exp\left[-\frac{(2n+1)^2 \pi^2 D_t}{4L^2} \right]$$

sendo, MR a razão de umidade fracional, M_i o teor de umidade inicial, M_t o teor de umidade médio no tempo t , M_e o teor de umidade de equilíbrio médio e L a metade da espessura da fatia, quando a secagem é feita dos dois lados ou a espessura da fatia, quando a secagem é feita apenas de um lado.

Para objetos com formato de fatia, a primeira condição de contorno estabelece que a umidade inicial está distribuída uniformemente na amostra. A segunda condição de contorno implica que a transferência de massa é simétrica com respeito ao centro da fatia. A terceira condição afirma que o teor de umidade da superfície atinge instantaneamente o valor de equilíbrio com o ar circunvizinho.

Os modelos semi-teóricos para secagem em camada fina são, geralmente, derivados da simplificação de uma solução em série da segunda lei de Fick. Por exemplo, o modelo de Henderson e Pabis é o primeiro termo de uma solução em série da segunda lei de Fick (DOYMAZ, 2005b).

De acordo com Akipinar (2005), os vários modelos existentes devem ser testados para cada cultura e para condições de secagem específicas.

Para determinação das curvas de secagem, utilizou-se o mesmo secador, deixando uma amostra, em cada uma das bandejas, secar até o teor de umidade de equilíbrio, definido como sendo a seqüência de três pesagens, intervaladas de 5 minutos que não apresentassem diferenças superiores à precisão da balança. Tomou-se como tempo final o correspondente ao momento da primeira destas três pesagens.

Neste trabalho foram testados os modelos citados por Akipinar (2005) descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Modelos de equações de secagem testados.

NOME DO MODELO	MODELO
Newton	$MR = \exp[-kt]$
Page	$MR = \exp[-kt^n]$
Page modificado	$MR = \exp[-(kt)^n]$
Henderson e Pabis	$MR = a \exp[-kt]$
Henderson e Pabis modificado	$MR = a \exp[-kt] + b \exp[-gt] + c \exp[-ht]$
Logarítmico	$MR = a \exp[-kt] + c$
Dois termos	$MR = a \exp[-k_0 t] + b \exp[-k_1 t]$
Dois termos exponencial	$MR = a \exp[-kt] + (1 - a) \exp[-kat]$
Wang e Singh	$MR = 1 + at + bt^2$
Difusão aproximada	$MR = a \exp[-kt] + (1 - a) \exp[-kbt]$
Verna e outros	$MR = a \exp[-kt] + (1 - a) \exp[-gt]$
Midilli e Kucuk	$MR = \exp[-kt^n] + bt$

Entre os critérios de seleção da equação que melhor se ajuste foram usados, pela ordem, o coeficiente de determinação R^2 , (GUARTE, 1996; MIDILLI e outros, 2002), sendo eliminados os modelos que apresentaram valores de R^2 menores que 0,90, a estatística χ^2 (MIDILLI e KUCUK, 2003), sendo eliminados os modelo para os quais se obteve $\chi^2 \geq 0,01$, a raiz quadrada do erro médio quadrático (RMSE) (CHAVES, 1999), sendo eliminados os modelos com $RMSE \geq 0,1$ e o erro médio (MBE), neste caso, eliminou-se os modelos com $MBE \geq 0,01$. Eliminou-se o modelo como um todo, ainda que o critério de eliminação ocorresse em apenas uma temperatura ou vazão, entendendo-se que o modelo deve se ajustar a toda a base de dados.

Para a análise dos dados foi utilizado o software NCSS (NCSS, 2006).

3.2. Quantificação e avaliação da composição química do óleo essencial de manjeriço submetido a secagem em camada fina

3.2.1 Extração do óleo essencial

Para a extração do óleo essencial foram utilizadas amostras provenientes dos tratamentos de secagem descritos no item 3.1.

A extração do óleo essencial foi realizada no Laboratório de Química da UESB, pelo método de arraste por vapor d'água (MARTINS, 1996; LOPES, 1997; CASTRO, 1997; KAMADA, 1998), no qual se empregou o equipamento mostrado na Figura 3.

O tempo de arraste foi de aproximadamente 120 min para 20 g de massa de plantas seca. Foram realizadas 3 repetições extrativas para cada parcela, combinando temperatura e velocidade do ar.

Após a obtenção do hidrolato (água + óleo), o óleo essencial foi extraído com solvente orgânico pentano (3 x 50 mL), em funil de separação de 125 mL.

A fase orgânica foi secada com sulfato de magnésio anidro, em excesso, e filtrada, sendo o solvente removido em evaporador rotativo (Figura 4) a 40°C até a redução expressiva do volume do solvente e o óleo transferido para um frasco âmbar, previamente pesado, para cálculo do rendimento do óleo.

As quantificações dos óleos essenciais extraídos do manjeriço foram realizadas através de pesagem das amostras em balança analítica (modelo AL 200 da Marte e sensibilidade de 0,001 g). Após a pesagem os frascos foram fechados, lacrados com parafilme e envoltos com papel alumínio, visando proteger da luz, e armazenados a 5 °C até o momento da análise química do óleo.



Figura 3 - Equipamento utilizado na extração do óleo essencial.



Figura 4 - Evaporador rotativo.

3.2.2 Análise do óleo essencial

A análise do óleo essencial foi realizada no Instituto de Química da Bahia, Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento em Química (UFBA).

A análise qualitativa do óleo foi feita por cromatografia em fase gasosa acoplada a espectrometria de massas (CG/MS), utilizando-se aparelho Shimadzu CG/MS – QP 2010, com injetor automático AOC - 20i. As condições experimentais foram as seguintes: coluna HP – 5MS (30m de comprimento, 1 μm de espessura do filme e 0,25 mm de diâmetro interno); temperatura do injetor 250°C; programação da coluna com temperatura variando de 80 a 240 °C; tem o Hélio como gás carreador ($1\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$); volume injetado 1 μL ; modo de injeção Splitless.

Para a determinação do teor de linalol foram utilizadas as condições acima descritas. Na calibração externa, foi preparada uma solução padrão de linalol utilizando o diclorometano como solvente nas concentrações de 1, 2, 5, 8,

10 e 50 mg.ml⁻¹. Por meio da curva de calibração feita com o padrão (Figura 5) determinou-se a concentração total de linalol, transformando-se os valores de resposta registrados em teor do mesmo (MING e outros, 1996).

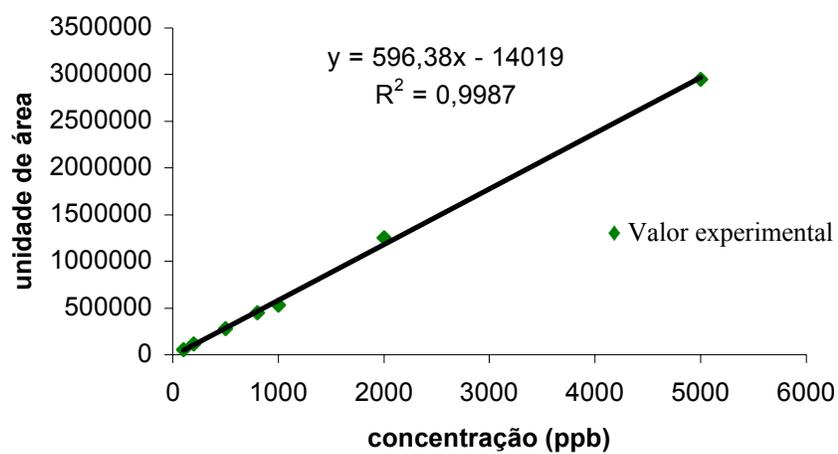


Figura 5 - Curva de calibração do linalol, área em função da concentração.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Determinação das curvas de secagem

Os resultados referentes aos tempos de secagem do manjeriço, em função da temperatura e da velocidade do ar de secagem estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Tempo total de secagem das folhas de manjeriço, em minutos.

Vazão de ar (m ³ /s)	Temperaturas (°C)			
	40	50	60	70
0,006	705 min	255 min	180 min	120 min
0,02	495 min	195 min	165 min	90 min

Observa-se que o maior tempo de secagem ocorreu a 40 °C, como era de se esperar, tempo esse que foi reduzindo à medida que ocorreu um aumento na temperatura do ar de secagem. Essa resposta pode ser justificada por Silva e outros (1995), devido ao aumento do potencial de secagem em decorrência do aumento da temperatura do ar, ocasionando redução da umidade relativa do ar de secagem.

Diminuições no tempo de secagem devido ao aumento da temperatura também foram observadas em experimentos de secagem realizados por Muller e MauhlBauer (1990) com *Chanomilla recutita* (camomila), em que se verificou redução de 52,0 para 3,5 h, utilizando temperaturas de 30 e 50°C, respectivamente.

Com relação ao comportamento das curvas de secagem Rao e outros (2001) em um experimento de secagem de cardamomo-gigante (*Amomum*

subulatum Roxburgh) com o emprego de resistências elétricas para aquecimento do ar de secagem (70, 82 e 90 °C) e vazão do ar de secagem de 0,46, 0,58 e 0,69 m³ min⁻¹, observaram que a declividade da curva de secagem foi constante para um determinado tempo de secagem e então decresceu, indicando duas regiões de secagem, ou seja, o período de taxa constante e o período de taxa decrescente de secagem.

No ajuste das curvas de secagem, o menor valor de R² encontrado foi de 0,689738 para o modelo de Page, na temperatura de 40 °C e velocidade do ar de 0,02 m³.s⁻¹. Pelo critério de se excluir os modelos cujos coeficientes de determinação fossem inferior a 0,90, além do modelo de Page foram excluídos os modelos de Midilli e Kucuk (R²=0,753645); Wang e Sing (R²=0,791541); Dois Termos Exponencial (R²=0,837278); Page Modificado (R²=0,837278); Newton (R²=0,837278).

Os demais modelos estudados apresentaram R² maior que 0,90. O maior valor de R² foi de 0,9992 para o modelo de Henderson e Pagis Modificado, na temperatura de 40 °C e velocidade do ar de 0,02 m³.s⁻¹. Este modelo também apresentou o segundo maior valor de R² (0,9989), na temperatura de 60 °C, velocidade do ar de 0,02 m³.s⁻¹.

A Tabela 3 mostra, em ordem alfabética, os modelos selecionados pelo critério de R² ≥ 0,90 bem como os valores máximo e mínimo de cada modelo. Observou-se que, nos modelos que passaram por este critério de seleção, o menor valor de R² foi para o modelo de Difusão aproximado (0,9207).

No Apêndice II são mostradas as equações de regressão para todos os modelos e os valores de R², χ^2 , MBE e RMSE.

Tabela 3 - Modelos selecionados pelo critério de $R^2 \geq 0,90$

MODELO	TEMP (°C)	V (m ³ .s ⁻¹)	R ²
DIFUSÃO APROXIMADO MÁXIMO =0,9944 MÍNIMO =0,9207	70	0,006	0,9944
		0,02	0,9837
	60	0,006	0,9783
		0,02	0,9659
	50	0,006	0,9625
		0,02	0,9593
	40	0,006	0,9439
		0,02	0,9207
DOIS TERMOS MÁXIMO =0,9989 MÍNIMO = 0,9614	70	0,006	0,9989
		0,02	0,9983
	60	0,006	0,9965
		0,02	0,9947
	50	0,006	0,9848
		0,02	0,9806
	40	0,006	0,9669
		0,02	0,9614
HENDERSON E PABIS MODIFICADO MÁXIMO =0,9992 MÍNIMO =0,9614	70	0,006	0,9992
		0,02	0,9989
	60	0,006	0,9983
		0,02	0,9965
	50	0,006	0,9848
		0,02	0,9806
	40	0,006	0,9669
		0,02	0,9614
LOGARÍTMICO MÁXIMO =0,9956 MÍNIMO =0,9806	70	0,006	0,9956
		0,02	0,9950
	60	0,006	0,9936
		0,02	0,9918
	50	0,006	0,9884
		0,02	0,9851
	40	0,006	0,9822
		0,02	0,9806
VERNA e outros MÁXIMO =0,9989 MÍNIMO =0,9622	70	0,006	0,9989
		0,02	0,9983
	60	0,006	0,9963
		0,02	0,9955
	50	0,006	0,9944
		0,02	0,9922
	40	0,006	0,9622
		0,02	0,9680

Não se observou uma tendência nos valores de R^2 no que se refere a temperatura ou a vazão, ocorrendo os valores máximos e mínimos em diferentes temperaturas ou vazões, conforme o modelo. Contudo, a temperatura de 40 °C na vazão de 0,006 m³.s⁻¹ apresentou os menores valores de R^2 em três dos cinco modelos. Uma possível causa para estas ocorrências está no fato de que, com este binômio temperatura/vazão, a secagem se aproxima muito de uma secagem natural sendo, portanto, muito afetada pela umidade do ar externo o que afeta, inclusive, a umidade de equilíbrio. A curva de secagem, neste caso, perdeu, portanto, sua característica.

Na continuação da seleção dos modelos, pelos critérios do valor de χ^2 , RMSE e MBE, observou-se que, independentemente do critério do R^2 , foram excluídos pelo critério do $\chi^2 \geq 0,01$ os modelos de Wang e Sing ($\chi^2 = 0,0100$, T=60°C, v=0,02m³.s⁻¹); Henderson e Pabis ($\chi^2 = 0,0109$, T=70°C, v =0,02m³.s⁻¹); Page ($\chi^2 = 0,0109$, T=70°C, v =0,02m³.s⁻¹ e $\chi^2 = 0,0109$, T=60°C, v=0,02m³.s⁻¹) e Midilli e Kucuk ($\chi^2 = 0,0113$, T=40°C, v =0,02 m³.s⁻¹). Entre estes modelos, apenas o de Henderson e Pabis não foi excluído pelo critério do coeficiente de determinação.

Quanto ao critério do RMSE $\geq 0,1$ foram excluídos os modelos de Page (RMSE = 0,1122, T= 40°C v= 0,02m³.s⁻¹) e Midilli e Kucuk (RMSE = 0,1000, T= 40°C v = 0,02m³.s⁻¹), que já haviam sido pelo critério do R^2 .

Na seleção pelo valor do MBE, foram excluídos os modelos de Henderson e Pabis (MBE =0,0100, T=60°C v = 0,006m³.s⁻¹ e MBE =0,0148, T=60°C v = 0,02m³.s⁻¹); Dois termos exponencial (MBE = 0,0114, T= 60°C v = 0,02m³.s⁻¹); Newton (MBE = 0,0114, T= 60°C v= 0,02m³.s⁻¹) e Page Modificado (MBE =0,0114, T 60°C v=0,02m³.s⁻¹). Destes modelos o de Henderson e Pabis, foi excluído pelo critério de χ^2 e os demais pelo critério do R^2 .

Portanto, entre os critérios aplicados, apenas o de RMSE não possibilitou a retirada de nenhum modelo que não houvesse sido retirado pelo R^2 . Tanto o critério do MBE como o do χ^2 permitiram a retirada de um modelo que não foi excluído pelo critério do R^2 . Desta forma, para esta base de dados, a aplicação do critério do R^2 , em conjunto o critério do χ^2 ou do MBE, teria levado à seleção dos mesmos modelos. Estes resultados estão de acordo com Iqbal (1983) que afirma que apenas a comparação entre os valores estimados e observados não é suficiente para se determinar a precisão de um modelo preditivo, mas que é necessário analisar uma grande base de dados e aplicar vários testes estatísticos. Este autor ainda afirma que o RMSE e χ^2 são mais eficientes para detectar diferenças num modelo, quando existe um fator aditivo ou subtrativo, aproximadamente constante. Este parece ter sido o caso do modelo de Henderson e Pabis, que não foi excluído pelo critério do R^2 .

Após a aplicação dos critérios de exclusão, pré-estabelecidos, restaram os modelos: Difusão aproximado; Dois Termos; Henderson e Pabis modificado; Logarítmico e Verna e outros. Portanto, pelos critérios de seleção adotados, qualquer um destes modelos poderia ser usado para descrever a base de dados.

Na busca da utilização de um só modelo, procedeu-se a uma análise das amplitudes de cada um dos testes aplicados na seleção. A Tabela 4 mostra os valores das amplitudes de cada um dos critérios de seleção para cada modelo.

Tabela 4 - Amplitudes de R^2 , MBE, RMSE e χ^2 para cada modelo.

MODELO	Amplitudes			
	R^2	MBE	RMSE	χ^2
DIFUSÃO APROXIMADO	0,073726	0,00126	0,025479	0,0032
DOIS TERMOS	0,037464	0,00647	0,045086	0,005013
HENDERSON E PABIS MODIFICADO	0,037815	0,005798	0,044263	0,010806
LOGARÍTMICO	0,015058	0,000441	0,023343	0,002377
VERNA e outros	0,036639	0,012277	0,041835	0,003099

O modelo logarítmico foi o que apresentou as menores amplitudes qualquer que seja o teste considerado. Desta forma, podemos afirmar que este foi o modelo que melhor descreveu as curvas de secagem de manjeriço nas condições deste experimento.

A Figura 5 mostra os dados referentes as curvas de secagem e as curvas ajustadas pelo modelo logarítmico e a Tabela 6 mostra as equações obtidas com este modelo.

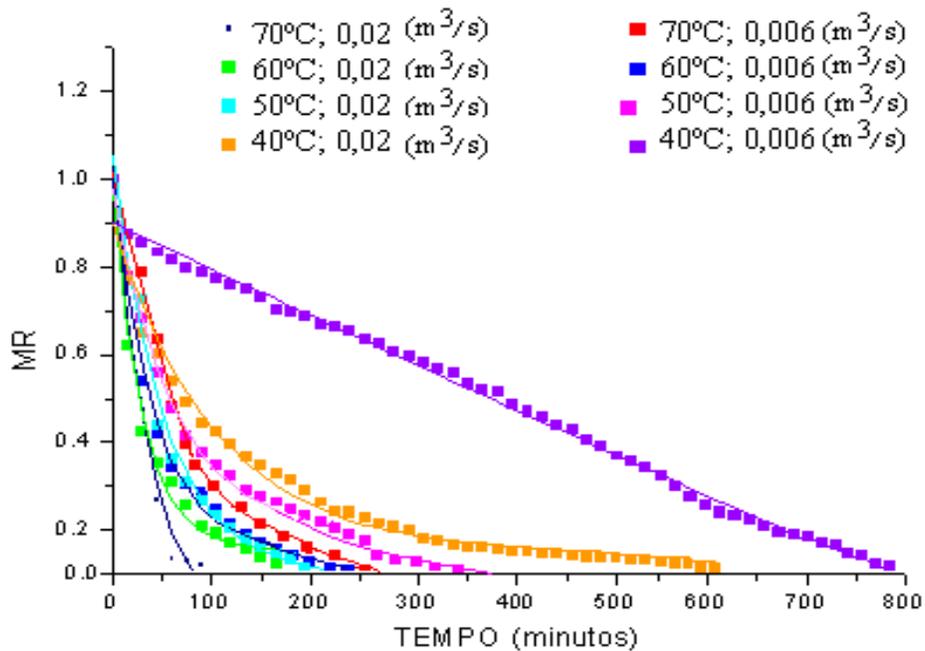


Figura 6 - Curvas de secagem ajustadas pelo modelo logarítmico.

Tabela 5 - Equações obtidas com o modelo logarítmico.

TEMP. (°C)	Vazão (m ³ .s ⁻¹)	EQUAÇÃO	R ²
70	0,006	MR = 2,407533e ^{-0,003937236t} - 1,391822	0,9956
70	0,02	MR = 1,049712e ^{-0,0261221t} + 0,02364886	0,9950
60	0,006	MR = 0,8496271e ^{-0,0236355t} + 0,1495786	0,9936
60	0,02	MR = 0,8229167e ^{-0,03319765t} + 0,1544002	0,9918
50	0,006	MR = 0,7839521e ^{-0,01615475t} + 0,1916112	0,9884
50	0,02	MR = 0,9539807e ^{-0,01885987t} + 0,09626006	0,9851
40	0,006	MR = 10e ^{-0,0001070016t} - 9,099753	0,9822
40	0,02	MR = 0,752677e ^{-0,009506284t} + 0,1452628	0,9806

4.2 Quantificação e composição do óleo essencial

4.2.1 Teor dos óleos essenciais.

Os resultados obtidos da extração dos hidrolatos provenientes da destilação por arraste a vapor, para cada temperatura e velocidade do ar de secagem estudadas, são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Teores brutos médios de óleos essenciais para cada uma das temperaturas e vazões estudadas.

TEMP. (°C)	V (m ³ .s ⁻¹)	Teor de óleo (gramas)
70	0,006	0,044
	0,02	0,033
60	0,006	0,092
	0,02	0,094
50	0,006	0,128
	0,02	0,130
40	0,006	0,122
	0,02	0,196

A análise de variância (Tabela 7) mostrou o efeito tanto da temperatura como da vazão, bem como da interação entre elas sobre a massa de óleo extraída.

Tabela 7 - Análise de variância.

Fonte de Variação	G.L.	SQ	QM	F
Temperatura	3	0,04819279	0,01606426	1889,91*
Vazão	1	0,001650042	0,001650042	194,12*
Temp. x Vazão	3	0,006624125	0,00221	258,77*
Resíduo	16	0,00136	0,0000085	
Total	23	0,05660296		

* Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Como a interação foi significativa, procedeu-se a análise do efeito da temperatura dentro de cada vazão e da vazão dentro de cada temperatura. Encontrou-se diferença significativa ($p < 0,01$ pelo teste de Scheffé) na comparação de todas as temperaturas, entre si, dentro de cada vazão e na comparação das duas vazões em todas as temperaturas.

Para melhor discriminar o efeito da temperatura e da vazão, em virtude da interação significativa e dos dados serem quantitativos, estabeleceu-se uma equação de regressão linear múltipla relacionando temperatura e vazão com a massa de óleo bruto. A Tabela 8 mostra o resultado da análise de regressão linear múltipla.

Tabela 8 - Resultados da análise de regressão linear múltipla, correlacionando temperatura (T) e vazão (v) com a massa de óleo bruta (m).

Equação					
$m = -0,004 T + 1,1578 v + 0,3084 \quad R^2 = 0,9638$					
Análise dos coeficientes da equação de regressão					
Coefficiente	Valor	Erro padrão	Valor de T		
Interceptação	0,3084	0,0208	14,800*		
T1	-0,0040	0,0003	-11,344*		
T2	1,1578	0,5461	2,120*		
Análise de variância da regressão					
Termo	G.L.	R²	SQ	QM	F
Interceptação	1		0,26439	0,26439	
Modelo	2	0,9638	0,04889	0,02445	66,587*
T1	1	0,8346	0,04724	0,04724	128,679*
T2	1	0,1292	0,00165	0,00165	4,494*
Erro	21	0,0362	0,00771	0,00037	
Total	23	1,0000	0,05660	0,00246	

* significativo ao nível de 1% de probabilidade

Observou-se um alto coeficiente de determinação (0,9638), indicando que a curva representa bem o conjunto de dados. A Figura 6 mostra a curva obtida e os pontos observados.

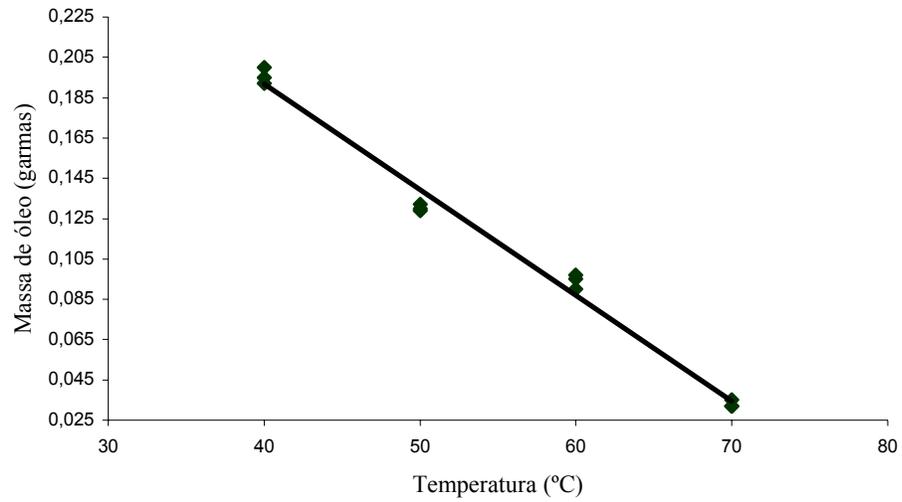


Figura 7 - Curva de regressão obtida, na vazão de $0,006 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e pontos observados.

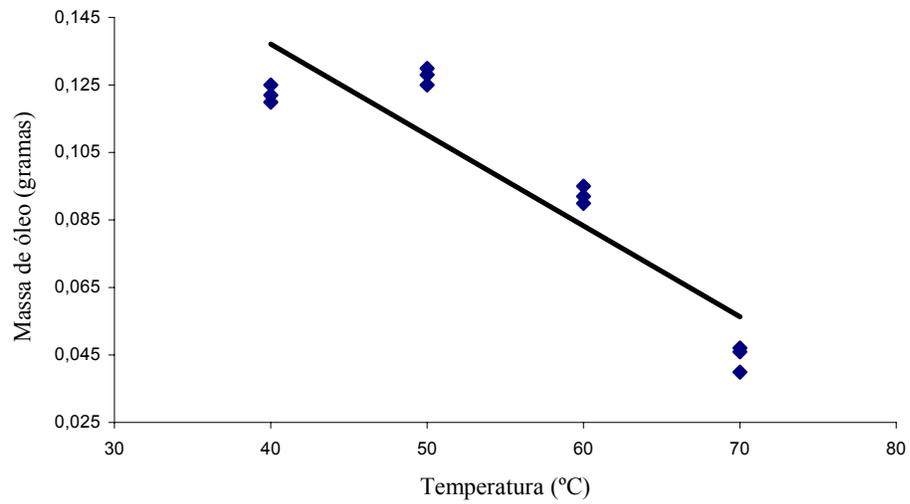


Figura 8 - Curva de regressão obtida, na vazão de $0,02 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e pontos observados.

O maior teor de óleo essencial obtido com emprego da temperatura de 40 °C, como foi verificado por DEANS e SVOBODA (1992), que empregaram temperaturas do ar de secagem entre 40 e 100 °C durante 24 horas, para a secagem de manjerona (*Origanum majorana* L.) e manjeriço (*Ocimum basilicum*), com o objetivo de avaliar a quantidade e qualidade do óleo essencial. Estes concluíram que a quantidade extrativa de óleo essencial foi inversamente proporcional ao aumento da temperatura do ar de secagem. A composição do óleo essencial de manjerona e manjeriço apresentou mudanças significativas quando a temperatura do ar de secagem atingiu 80 °C.

De acordo Campos e Canéchio Filho (1975), vários fatores podem causar a variação na porcentagem de óleo obtido, destacando-se a idade da planta, tipo de solo cultivado e a técnica de extração empregada. Segundo Gonçalves (2000), o óleo essencial do gênero *Ocimum* localiza-se em tricomas e nos glandulares superficiais, sendo essas estruturas fragilizadas pelo ambiente, uma vez que são de fácil ruptura e de teor muito volátil, o que pode ocasionar perdas de óleo durante o manuseio da planta.

4.2.2 Composição do óleo essencial

A análise dos hidrolatos obtidos por arraste a vapor do óleo essencial foram separados e quantificados por CG/MS, sendo detectados mais de 100 compostos nas amostras analisadas. Na tabela 9 estão relacionados os constituintes em maior quantidade identificados no óleo essencial do manjeriço proveniente dos tratamentos de secagem.

Tabela 9 - Compostos em maior quantidade nas amostras provenientes dos tratamentos de secagem.

Nº do pico	Componente	MM (Kda)	t_R (min)	IK
1	eucaliptol	154	11,97	1005
2	linalol	154	14,40	1081
3	eugenol	164	23,72	1375
4	ciclohexano	204	25,08	1375
5	α -bergamoteno	204	26,43	1415
6	não identificado	204	29,16	1465
7	naftaleno	222	32,99	1699
8	8-hexil-pentadecano	250	41,30	1870

(MM=massa molar, t_R = tempo de retenção, IK= Índice de Kovats)

A figura 9 mostra a variação do teor de linalol nas amostras provenientes do experimento de secagem. Houve interferência tanto da temperatura como da vazão na quantidade do composto, ocorrendo assim uma maior quantidade nas temperaturas de 50 e 60 °C. Segundo Randuz e outros (2003), o aumento ou a redução dos compostos pode ser ocasionado por reações de oxidação, redução e rearranjos durante o processo de secagem devido a temperatura ou ao longo do tempo de secagem.

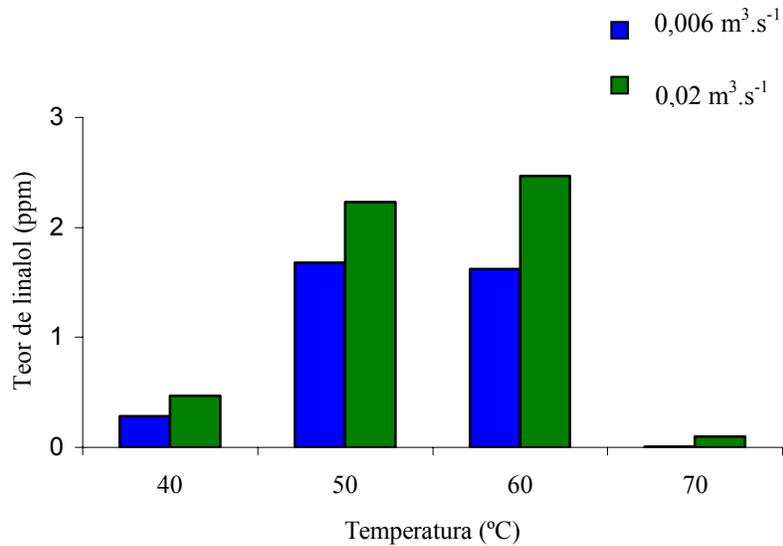


Figura 9 - Teor de linalol no óleo essencial.

Os resultados referentes a composição química estão de acordo com os encontrados por Blanco e outros (2002a e 2002b), os quais demonstraram que o emprego de temperaturas de secagem igual ou superior a 40°C, para a *Mentha piperita* L. (hortelã) e *Rosmarinus officinalis* L. (alecrim), causaram alterações significativas nos constituintes de seus óleos essenciais. Venskutonis (1997) obteve resultados semelhantes para a secagem de *Salvia officinalis* L. (salvia) a temperatura de 60 °C e comparado com a planta fresca, ocorrendo aumento e redução de determinados constituintes.

Os cromatogramas das amostras submetidas a temperatura de 70 °C mostram que todos os constituintes sofreram grandes reduções em seus teores nesta temperatura, indicando perdas por volatilização (Figura 10).

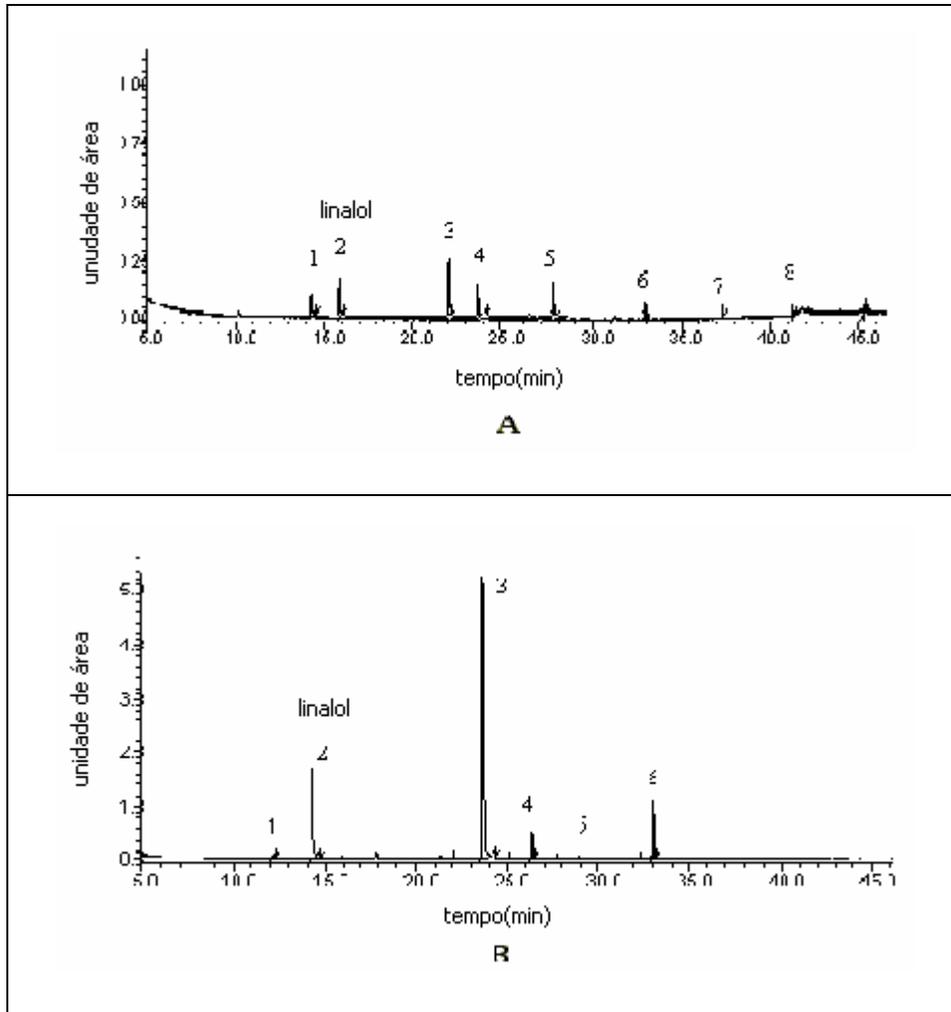


Figura 10 - Cromatogramas do óleo extraído a 70 °C nas vazões de 0,006m³/s (A) e 0,02m³/s(B).

Apesar da temperatura de 40 °C ter fornecido maior quantidade de óleo essencial, a quantidade de compostos foi fortemente afetada pelo tempo de exposição das folhas ao ar de secagem, o que promoveu uma redução nos teores dos compostos químicos, como mostra os cromatogramas da figura 11.

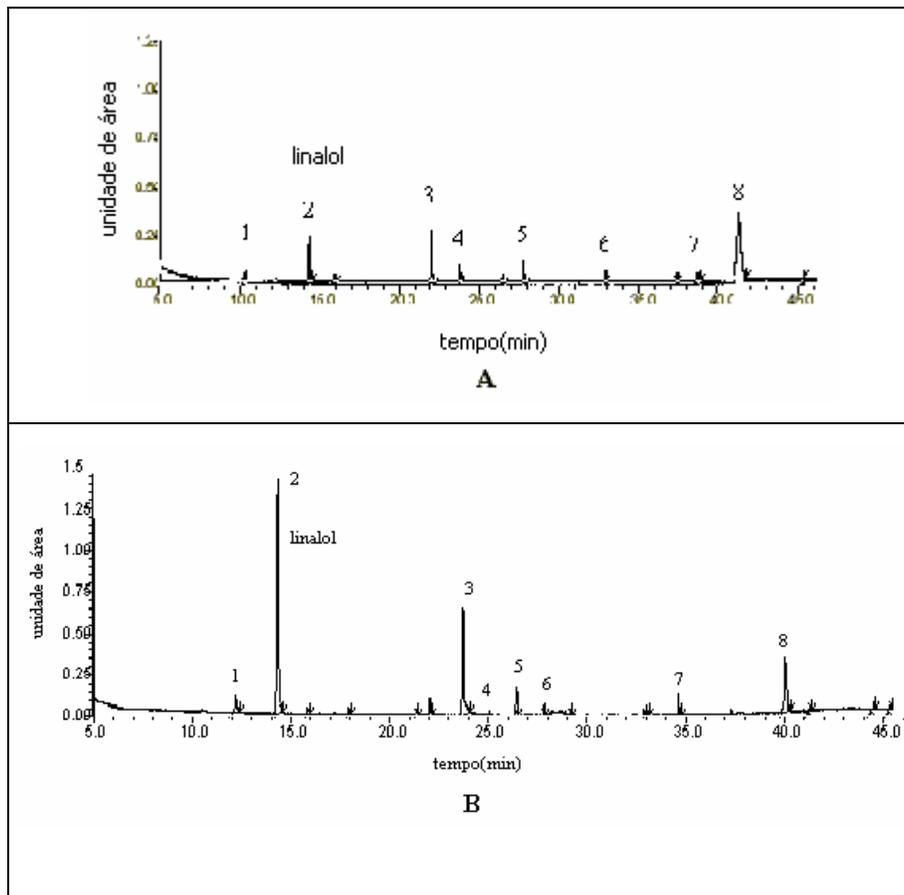


Figura 11 - Cromatogramas do óleo extraído a 40 °C nas vazões de $0,006\text{m}^3/\text{s}$ (A) e $0,02\text{m}^3/\text{s}$ (B).

O componente majoritário (linalol) apresentou maior rendimento nas temperaturas de 50 e 60 °C (Figuras 12 e13), os resultados estão semelhantes aos

obtidos por PEREIRA e outros (2000) que obtiveram maior rendimento de cumarina nas plantas de guaco (*Mikania glomerata* Sprengel) secas a 50 °C concluindo que o conteúdo de cumarina é afetado pela eficiência do método de secagem, estando de acordo com outros trabalhos, demonstrando que altos níveis de drogas estão associados à secagem rápida.

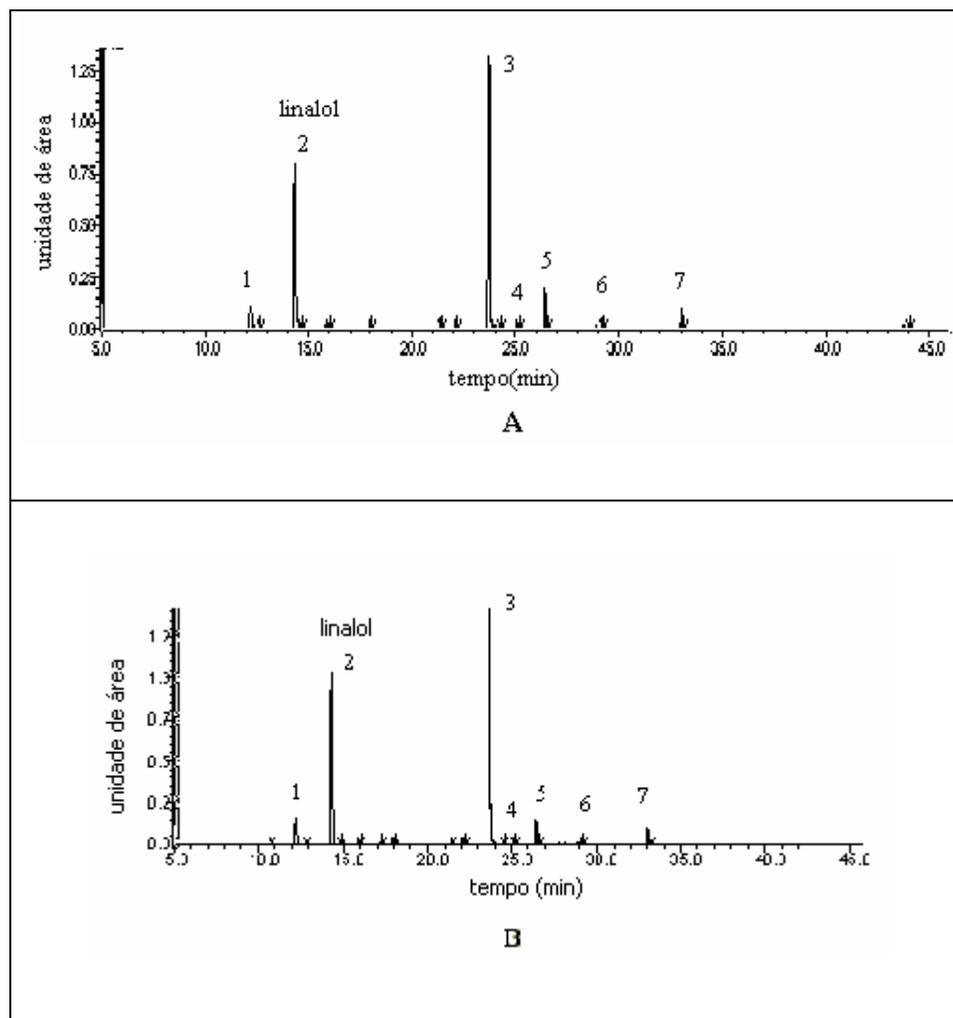


Figura 12 - Cromatogramas do óleo extraído a 50 °C com vazão de 0,006m³/s (A) e a 0,02m³/s (B).

Os maiores teores obtidos podem ser devidos a ação da temperatura na estrutura da folha, possibilitando uma extração mais eficiente da cumarina pelo método empregado (RANDUZ e outros, 2003).

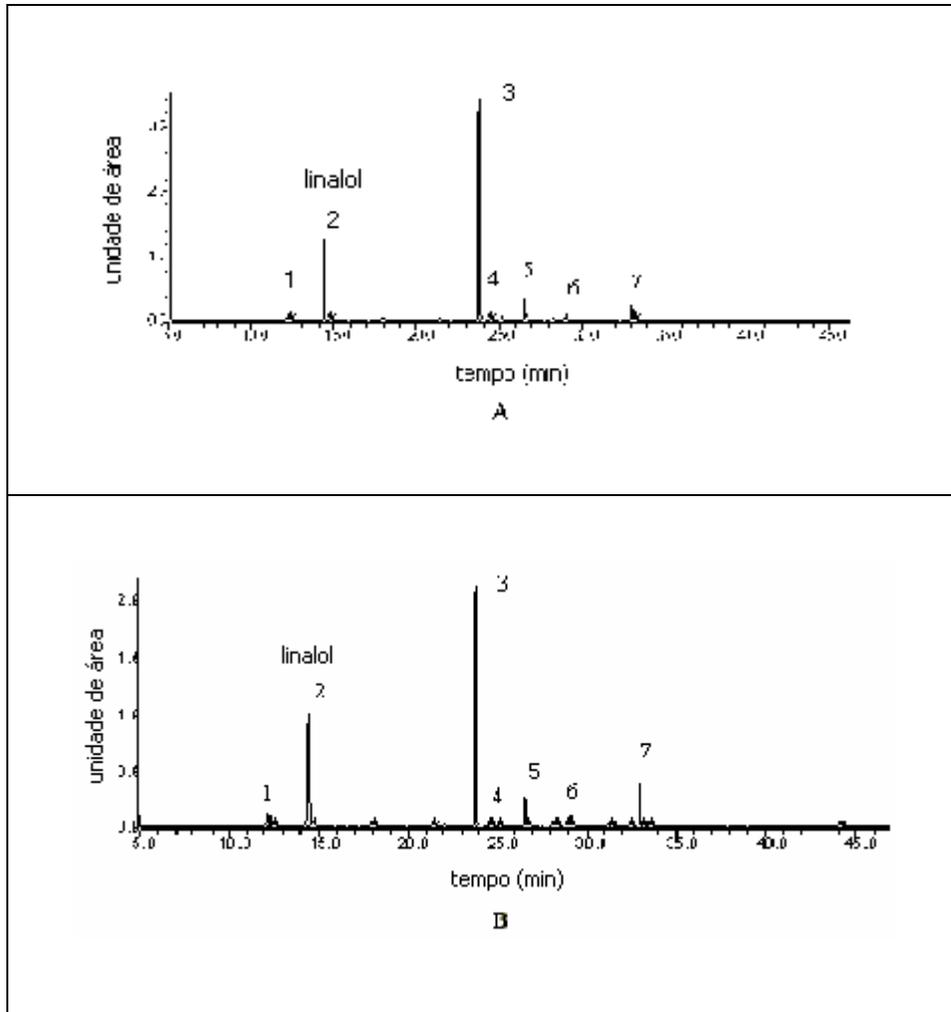


Figura 13 - Cromatogramas do óleo extraído a 60 °C com vazão de 0,006 m³/s (A) 0,02m³/s (B).

Uma equação de regressão não linear múltipla foi obtida, relacionando temperatura e vazão com o teor de linalol. A Tabela 10 mostra os resultados desta análise.

Observou-se um alto valor de coeficiente de determinação, mostrando um bom ajuste da curva aos dados experimentais. A análise de variância da regressão confirmou, ao nível de 1% de probabilidade, o efeito tanto da temperatura como da vazão.

Tabela 10 - Resultados da análise de regressão não linear múltipla, correlacionando temperatura (T) e vazão (v) com o teor de linalol (L) em ppm.

Equação				
L= -0,0089T ² +0,9737T+1,7799v ² +29,8793v-24,7009 R ² =0,9692				
Análise dos coeficientes da equação de regressão				
Modelo: Z = A*X²+B*X+C*Y²+D*Y+E				
Coeficiente	Valor			
A	-8.932037E-03			
B	0.9737417			
C	1.77997			
D	29.87926			
E	-24.7009			
Análise de variância da Regressão				
Termo	G.L.	SQ	QM	F
Médio	1	9,8177	9,8177	57,66058*
Modelo	5	16,62839	3,325677	19,53212*
Modelo (ajustado)	4	6,810686	1,702671	
Erro	3	0,2165176	0,007173	
Total ajustado	7	7,027204		
Total	8	16,8449		

* significativo ao nível de 1% de probabilidade

Uma análise de pontos críticos da equação obtida permitiu deduzir que, assumindo-se a validade de uma interpolação dos dados, o teor máximo de linalol, seria obtido na vazão de $0,02 \text{ m}^3/\text{s}$ com uma temperatura de $54,4^\circ\text{C}$. A Figura 14 mostra as curvas referentes as vazões usadas neste experimento, com os pontos observados enquanto a Figura 15 apresenta uma superfície de resposta obtida a partir da equação de regressão.

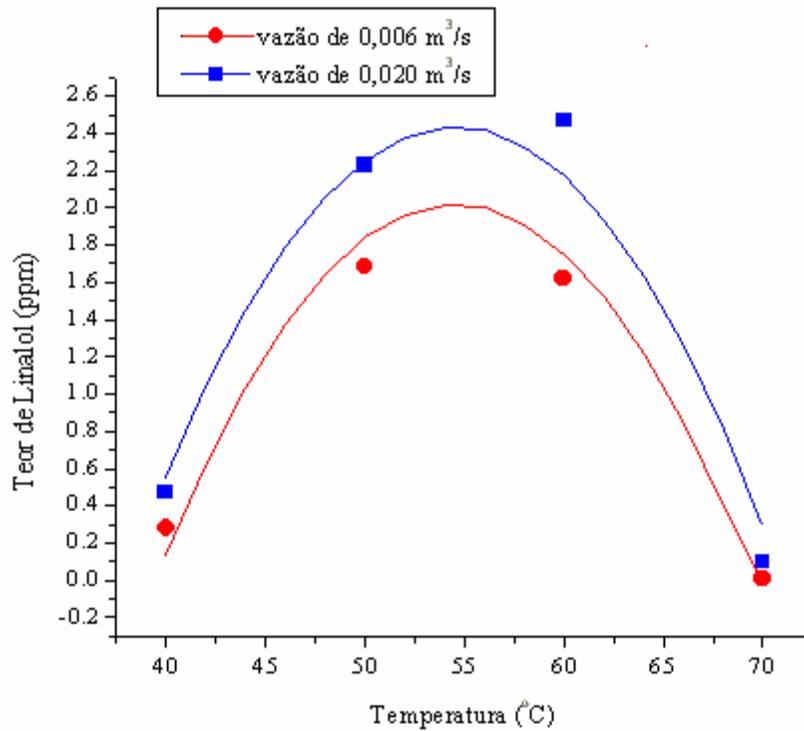


Figura 14 - Curvas referentes as respostas do teor de linalol para as vazões e temperaturas de secagem.

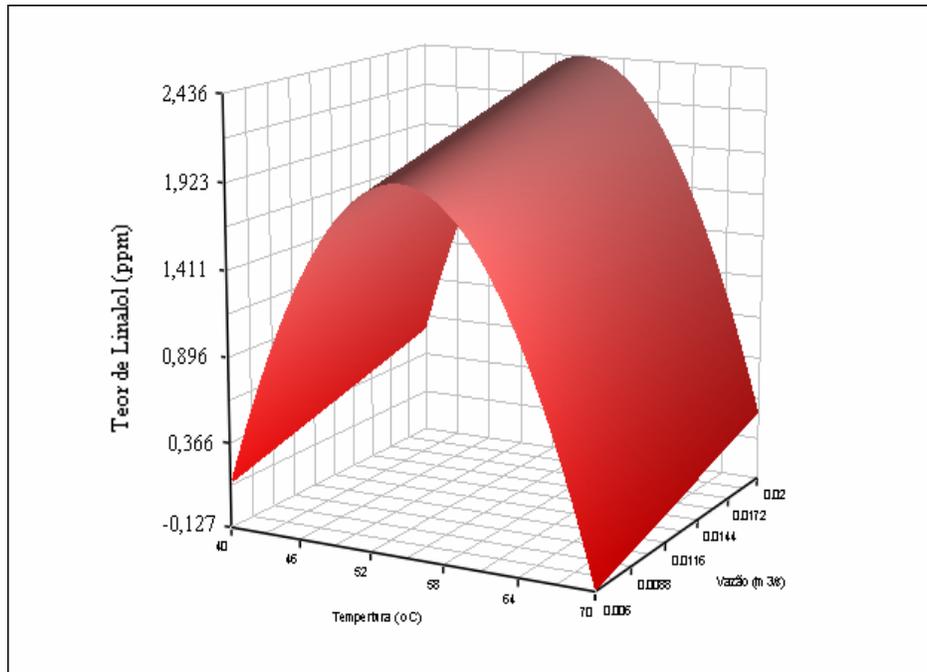


Figura 15 - Superfície de resposta obtida a partir da equação de regressão.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir:

- o modelo logarítmico foi o modelo que melhor descreveu as curvas de secagem de manjeriço nas condições deste experimento;
- os maiores rendimentos extrativos de óleos essenciais de manjeriço foram obtidos quando o processo de secagem foi realizado com temperatura do ar igual a 40 °C;
- o maior rendimento de Linalol foi obtido quando o processo de secagem foi realizado com temperatura do ar na faixa de 50 a 60 °C;
- a composição química do óleo essencial do manjeriço foi afetada pelos variáveis da secagem;
- a temperatura e vazão do ar para secagem de manjeriço, visando obter maior teor de óleo essencial e a maior concentração de Linalol, é 54,4 °C e 0,02 m³/s respectivamente.

REFERÊNCIAS

ABIFITO. **Fitoterápicos:** setor movimenta US\$ 400 milhões no Brasil. Disponível em: <<http://www.abifito.com.br>>. Acessado em: 18 agosto. 2005.

ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS. **Medicamentos a partir de plantas medicinais no Brasil.** Rio de Janeiro, RJ: 1998.132p.

AFZAL, T.M. & ABE, T. Simulation of moisture changes in barley during far infrared radiation drying. **Computational Electronic and Agricultural.** v. 26, p. 137–145, 2000.

AKPINAR, E.K. Determination of suitable thin layer drying curve model for some vegetables and fruits **Journal of Food Engineering.** V.73, p75–84, 2005.

ALMASSY JÚNIOR, A. A. **O Programa Fitoverde e o Grupo Entre Folhas: a fitoterapia nas esferas governamental e não-governamental.** Viçosa, MG: UFV, 2000. 124p. Dissertação (Mestrado em Extensão Rural) - Universidade Federal de Viçosa.

AMARAL, C.L., OLIVEIRA, J.E.Z., CASALI, V.W.D. **Plantas medicinais e aromáticas: melhoramento genético.** Viçosa, MG: UFV – Departamento de Fitotecnia, 1999. 153p.

ASAE STANDARDS. **Standards Engineering Practices Data:** Moisture measurement-forages, ASAE S358.2 DEC99. Adopted and published by:..American Society of Agricultural Engineers, 2000. p. 565-572.

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 Médica*, v.26, n.1, p.20-25, 1974.

BARITAUX, O., RICHARD, 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.

BLANCO, M. C. S. G.; MING, L. C.; MARQUES, M. O. M.; BOVI, O. A. Drying temperature effects in peppermint essential oil content and composition. **Acta Horticulturae**, n. 569, p. 95-98, 2002a.

BLANCO, M. C. S. G.; MING, L. C.; MARQUES, M. O. M.; BOVI, O. A. Drying temperature effects in rosemary essential oil content and composition. **Acta Horticulturae**, n. 569, p. 99-103, 2002b.

BONNARDEAUX, J. The effect of different harvesting methods on the yield and quality of basil oil in the ord river irrigation area. **Journal of Essential Oil Research**, v.4, n.1, p.65-72,1992.

BRAZ-FILHO, R. Química de produtos naturais: importância, interdisciplinaridade, dificuldades e perspectivas. A peregrinação de um pacaturno. **Química Nova**, v. 17, n. 5, p. 405-445, 1994

CAMPOS, T., CANÉCHIO FILHO, V. **Principais culturas**. 2ed. Campinas: Instituto Campeiro de Ensino Agrícola, 1975. v 2,633p.

CANTWELL, M.I., REID, M.S. Post harvest physiology and handling of fresh culinary herbs. **Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants**, v.1, n.3, 1994.

CASTRO, H. G.; FERREIRA, F.A. A dialética do conhecimento no uso das plantas medicinais. **Revista Brasileira de plantas Medicinai – Brazilian Journal of Medical Plants**, v 3, n. 2, p. 19-21,2001.

CASTRO, H. G.; FERREIRA, F.A. **Contribuição ao estudo das plantas medicinais: carqueja** (*Baccharis genistelloides*). Viçosa, MG: UFV, Departamento de Fitotecnia, 2000. 10p.

CASTRO, D.M. **Caracterização Isozimática, da anatomia foliar, do óleo essencial e germinação de *Leonurus sibiricus* L.** Viçosa, MG: UFV, 1997. 97p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa.

CASTRO, L. O. de & CHEMALE, V. M. **Plantas medicinais, condimentares e aromáticas: descrição e cultivo**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária Ltda., 1995. 195 p. il.

CHARLES, D. J., SĪMON. I E. SHOCK, C. C., FEĪBERT. E. B. G., SMITH, R. M. Effect of water stress and post-harvest handling on artemisinin content in the leaves of *Artemisia annua*. in: J.JANICK,J.F.C..SIMON (Eds.}, **New Crops**. New York:Wiley, 1993. p.628-631.

CHARLES, D.J., SIMON, J.E. Comparison of extraction methods for the rapid determination of essential oil content and composition of basil. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 115, n.3, p. 458-462, 1990.

CHAVES, M. A. **Sistema de Informação e Modelagem de Radiação Solar**. Botucatu, 1999. 175p. Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias.

CORREA JÚNIOR, C., MING, L.C., SCHEFFER, M.C. **Cultivo de plantas medicinais, condimentares e aromáticas**. 2.ed. Jaboticabal: FUNEP, 1994. 162p.

CORRÊA, P. C., AFONSO JUNIOR, P. C., MARTINS, P. M., MELO, E. C., RADÜNZ, L. L. Modelo matemático para representação da higroscopicidade de plantas medicinais. **Revista Brasileira de Armazenamento**. Viçosa, MG, v.27, n.1, p.08 - 15, 2001

CRANK, J. **The mathematics of diffusion**. Oxford: Clarendon Press. 1975.

CURT, W.A., ROY, R.C., POCS, R. Effect of date on the yield and quality of the essential oil of peppermint. **Can. J. Plant Sci.**, v. 73, n.228, p.815-824, 1993.

CULPEPER, N. **The Complete Herbal**. Delhi: Indian Books Center, 1999.

DEANS, S. G; SVOBODA, K. P. Effects of drying regime on volatile oil and microflora of aromatic plants. **Acta Horticulturae**, n. 306, p. 450-452, 1992.

DEANS, S. G. WATERMAN, P. G. Biological activity of volatile oils. In: HAY, R.K.M.; WATERMAN, P. G **Volatile oil crops: their biology, biochemistry and production**. Essex: Longman Group, 1993. p. 97-109.

DOYMAZ, I Thin-layer drying behaviour of mint leaves. **Journal of Food Engineering**. Article in press, Corrected prof. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/02608774> 2005a.

DOYMAZ, I. Drying behaviour of green beans. **Journal of Food Engineering**, v.69 (2), p.161–165. 2005b.

EL MASR, S. **The effect of various drying and storage conditions on the alkaloid content of *Datura Metel*** Linn. Egypt. J. Pharm. Sc. v.17. n.3, p.291-298. 1976.

EL FATTAH, M.A, EL ZAHWEY, H.I.M., EL DEEB, S.A. Effect of the drying in th physicochemical properties and the composition of lemongrass oil. **Menofia Journal Agric. Res.** v.17, n.3, p.1211-1230, 1992.

FARIAS, M. R. Avaliação da qualidade de matérias-primas vegetais. In: SIMÕES, C.M.O et al. **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. 5. ed. Porto Alegre/Florianópolis: Editora UFRGS/ Editora UFSC, 2003. p. 263-288.

FRANÇA, S. C. Abordagens biotecnológicas para obtenção de substâncias ativas. In: SIMÕES, C.M.O e outros **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. 5. ed. Porto Alegre/Florianópolis: Editora UFRGS/ Editora UFSC, 2003. p. 123-146.

GOKTE, N., MAHESHWARI, M.L., MATHUR, V.K. Nematicidal activity of new essential oils against root-knot and cyst nematode species. **Indian Journal of Nematology**, New Dli, v.21, n.2, p.123-127, 1993.

GONÇALVES, L. A. **Os tricomas glandulares de *Ocimum selloi* Benth. (Lamiaceae) e o desenvolvimento da espécie em dois níveis de radiação solar**. Viçosa, MG: UFV, 2000. 105p. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Universidade Federal de Viçosa.

GOTTLIEB, ° R.; KAPLAN, M.ªC.; BORIN, M.R.M.B. **Biodiversidade: um enfoque químico-biológico**. Rio de janeiro: UFRJ, 1996. 268 p.

GUARTE, R. C. **Modeling the drying behavior of copra and development of a natural convection dryer for production of high quality copra** in the Philippines. PhD Thesys.(Hohenheim University, Stuttgart, Germany.) 1996

GUERRA, M. P; NODARI, R. O. Biodiversidade: aspectos biológicos, geográficos, legais e éticos. In: SIMÕES, C. M. O e outros **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. 5. ed. Porto Alegre/Florianópolis: Editora UFRGS/ Editora UFSC, 2003. p. 13-28.

GUERRA, M. P., NODARI, R. O. Biodiversidade: aspectos biológicos, geográficos, legais e éticos. **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. 3ª Ed. Porto Alegre/Florianópolis: Editora da Universidade UFRGS / Editora da UFCS, 2001.

- GUENTHER, E. **The essential oils**. Huntington, N.Y.: R.E. Krieger, 1972. 6v.
- GUPTA, R. Basil (*Ocimum* spp.). **G-15 Gene Banks for Medicinal & Aromatic Plants Newsletter**, n.5/6, p.1-3, 1994.
- HALVA, S., HUOPALAHTI, R., FRANZ, C., MAKINEN, S. Herb yield and essential oil of dill (*Anethum graveolens* L.) at different locations. **Journal of Agricultural Science in Finland**, v. 60, p. 93-100, 1988.
- HANSEN, R. C.; KEENER, H. M.; ELSOHLY, H. N. Thin layer drying of cultivated taxus clippings. **Transactions of the ASAE**, v. 36, n. 5, p. 1387-1391, 1993.
- HENDERSON, S.M. Progress in developing the thin layer drying equation. **Transactions of the ASAE**, v.17, p.1167-1172, 1974.
- HERTWIG, V.I.F. **Plantas aromáticas e medicinais: plantio, colheita, secagem e comercialização**. São Paulo, SP: Ícone, 1986. 441p.
- HIEN, P.H., TAM, N.H., Xuan, N.V. study on the reversal timing for the sra reversible dryer In: **Seminar on “Agricultural Engineering and Agro-products Processing towards Mechanization and Modernization in Rural Areas”**, Nong-Lam University, HoChiMinh City, China, 2003.
- IQBAL, M. **An introduction to solar radiation**. New york, Academic press, 390p. 1983.
- JORGE, L.I.F., ROQUE, N.F., FERRO, V.O. *Ocimum micranthum* Willd-manjeriço do Brasil: caracterizações histológica e química. **Rev. Inst. Adolfo Lutz**, v.52, n.1/2, p.47-50, 1992.
- KAMADA, T. **Plasticidade fenotípica da morfologia e do óleo essencial em acessos de manjeriço (*Ocimum* spp.)**. Viçosa, MG: UFV, 1998. 59p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa.
- KAMADA, T., CASALI, V.W.D., BARBOSA, L.C.A., FORTES, I.C.P., FINGER, F.L. Plasticidade fenotípica do óleo essencial em acessos de manjeriço (*Ocimum* spp.). **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v.1, n.2, p.13-22, 1999.

KHRAISHEH, M. A. M., COOPER, T. J. R., & MAGEE, T. R. A. The transport mechanism of moisture during air drying processes. **Transactions of the International Chemical Engineering Society**, v.75C, p.34–39. 1997.

LEMBERKOVICS, E., PETRI, G., NGUYEN, H. Relationships between essential oil and flavonoid biosynthesis in sweet basil.). **Acta Horticulturae**, v.426, p. 647-655, 1996.

LOPES, R.C. **Caracterização isozimática, divergência genética e produção de óleo essencial em acessos de *Polygonum punctatum* Ell.** Viçosa, MG: UFV, 1997. 91p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa.

MARTINS, E. R.; CASTRO, D. M.; CASTELLANI, D. C.; DIAS, J. E. **Plantas medicinais**. 4. ed. Viçosa: Editora UFV, 2002. 220p.

MARTINS, P.M. **Influência da temperatura e velocidade do ar de secagem no teor e na composição química do óleo essencial de capim-limão (*Cymbopogum citratus* (D.C.) STAPF).** Viçosa: UFV, 2000. 77p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 2000.

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.

MARTINS, E.R. CASTRO, AM. CASTELLANI, D.C, DIAS, J.E. **Plantas Medicinais**. Viçosa. MG: IJFV, 1995. 220p.

MARTINS, E.R., CASTRO, D.M., CASTELLANI, D.C., DIAS, J.E. **Plantas medicinais**. Viçosa, MG: UFV, 1994. 220p.

MATOS, J.K.A. **Plantas medicinais: aspectos agrônômicos**. Brasília, DF: 1996. 51p.

MELO, E. C., RADÜNZ, L. L., BERBERT, P. A. Projeto e Avaliação de um Secador de Bandejas Para Plantas Medicinais e Aromáticas In: **XXXI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, SBEA**, Salvador - Bahia , 2002,

MIDILLI, A., KUCUK, H. Mathematical modelling of thin layer drying of pistachio by using solar energy. **Energy Conversion and Management**, v44, p.1111–1122. 2003.

MIDILLI, A., KUCUK, H., & YAPAR, Z. A. New model for singlelayer drying. **Drying Technology**, v.20(7), p.1503–1513, 2002

MING, L. C. **Mesa redonda sobre plantas medicinais no ensino de 3º grau**. In: Congresso 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 orticulturae**, 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.

MÜLLER, J.; MÜHLBAUER, W. Effects of drying on the essential oil of *Chamomile recutita*. In: International Joint Symposium of Biology and Chemistry of Active Natural Substances, Bonn, 1990. **Anais...** Bonn, 1990. p. 155.

NCSS. Disponível em: <<http://www.ncss.com>>. Acesso em: 23 jan. 2006

NTEZURUBANZA, L., SHEFFER, J.J.C., LOOMAN, A. Composition of essential oil of *Ocimum kilimandscharicum* grown in Ruanda. **Planta Medica**, v.50, n.5, p.385-388, 1984.

NYKANEN, I. The effect of cultivation conditions on the composition of basil oil. **Flavour and Fragrance Journal**, v. 4, p. 125-128. 1989.

PANCHARIYA, P.C., POPOVIC, D. & SHARMA, A.L. Thinlayer modeling of black tea drying process. **Journal of Food Engineering**, v.52, p. 349–357 2000.

PEREIRA, A. M. S.; CÂMARA, F. L. A.; CELEGHINI, R. M. S.; VILEGAS, J. H. Y.; LANÇAS, F. M.; FRANÇA, S. C. Seasonal variation in coumarin content of *Mikania glomerata*. **Journal of Herbs, Spices e Medicinal Plants**, v. 7, n. 2, p. 1-10, 2000.

PEREZ, A.M.J., VELASCO, N.A., DURU, M.E. Composition of the essential oils of *Ocimum basilicum* var. *glabratum* and *Rosmarinus officinalis* from Turkey. **Journal of Essential Oil Research**, v.7, n.1, p.73-75, 1995.

PETROPOULOS, G., VLACHOU, A.M. GLC analysis and comparison of flavour of different populations of basil. In: **Food flavours: generation, analysis and process influence.**[s.l.:s.n.t.], 1995. p. 849-855.

RANDHAWA, G.S., SINGH, A. Effect of sowing time and harvesting stage on oil content, herbage and oil yield of dill (*Anethum graveolens* L.). **Indian Perfumer**, v. 35, p. 204-208, 1991.

RADÜNZ, L. L., MELO, E. C., BERBERT, P. A., BARBOSA, L.C. A., SANTOS, R. H. S., ROCHA, R. P. **Influência da temperatura do ar de secagem na quantidade do óleo essencial extraído de guaco** (*Mikania glomerata Sprengel*). Revista Brasileira de Armazenamento. Viçosa, MG: , v.28, n.2, p.41 - 45, 2003.

RADÜNZ, L. L., MELO, E. C., BERBERT, P. A., ALMEIDA, L. C. B., ROCHA, R. P., GRANDI, A. M. **Efeitos da temperatura do ar de secagem sobre a qualidade do óleo essencial de alecrim pimenta** (*Lippis sidoides* Cham). Revista Brasileira de Armazenamento. Viçosa (MG), Brasil: , v.27, n.2, p.09 - 13, 2002.

RAO, V. G.; MANDE, S.; KISHORE, V. V. N. Study of drying characteristics of large-cardamon. **Biomass e Bioenergy**, v. 20, p. 37-43, 2001.

RAO, C.P., SINGH, M., SINGH, H.N. Fungitoxic evaluation of essential oils extracted from higher plants against some sugarcane pathogens in vitro. **Tropical Science**, v.32, n.4, p.377-382, 1992.

REIS, M. S.; MARIOT, A.; STEENBOCK, W. Diversidade e domesticação de plantas medicinais. In: SIMÕES, C.M.O e outros **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. 5. ed. Porto Alegre/Florianópolis: Editora UFRGS/ Editora UFSC, 2003. p. 43-74.

REVISTA BRASILEIRA DE MEDICINA. **Fitoterápicos: uma tendência natural**. São Paulo, v. 59, n. 9, p. 637-644, 2002. especial.

SKRUBIS, B.G. **The drying of laurel leave**. Perfumer & Flavors, v.7, n.5, p17-40, 1992.

SILVA, B.M., MARQUES, E.V. **As essências florais de minas, síntese para uma medicina de almas**. Belo Horizonte: Editora Luz Azul, 1997. 301p.

SILVA, F., CASALI, V.W.D. **Plantas medicinais e aromáticas: pós-colheita e óleos essenciais**. 2.ed. Viçosa, MG: UFV, Departamento de Fitotecnia, 2000. 153p.

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.

SIMÕES, C. M. O.; SPITZER, V. Óleos voláteis. In: SIMÕES, C.M.O e outros **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. 5. ed. Porto Alegre/Florianópolis: Editora UFRGS/ Editora UFSC, 2003. p. 467-495.

SIMÕES, C.M.O., SPITZER, V. Óleos voláteis. In: SIMÕES, C. M. O., SCHENKEL, E. P., GOSMANN, G., MELLO, J.C.P., MENTZ, L.A, PETROVICK, P. R. **Farmacognosia da planta ao medicamento**. Porto Alegre; Florianópolis: Ed. Universidade UFRGS; Ed. da UFSC, 1999. 821p.

STRINGHETA, P. C. **Desidratação de pimentas e pimentões**. Informe Agropecuário.v.10, n.113, p-79-83,1984.

TANKO, H.M., CARRIER, D.J., SOKHANSANJ, S, CROWE T.G Drying of feverfew (*Tanacetum parthenium* L.) **Canadian Biosystems Engineering**, v.47, p.357-360, 2005.

TEIXEIRA, J.P.F., MARQUES, M.O.M., FURLAN, P.R., FACANALLI, R. Óleo essencial de duas variedades de manjeriço em cultivo hidropônico. **Horticultura Brasileira**, v.18, p.982-983, 2000. (suplemento).

VASCONCELOS SILVA, M.G., CRAVEIRO, A.A., MATOS, F.J.A., MACHADO, M.I.L., ALENCAR, J.W. Chemical variation during daytime of constituents of the essential oil of *Ocimum gratissimum* leaves. **Fitoterapia**, v.70, p.32-34, 1999.

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 P.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,

VIEIRA, L. C. **Fitoterapia da Amazônia: manual de plantas medicinais**. 2 ed. São Paulo: agronômica Seres, 1992. 347p.

WILKE, J. Compêndio de Santa Catarina é o mais completo do Mundo. **Gazeta Mercantil**, São Paulo, 27 jul. 2003. Caderno Brasil-mercado p. b13.

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.347-352. 1982.

ANEXOS

ANEXO 1 – DETALHES DO SECADOR

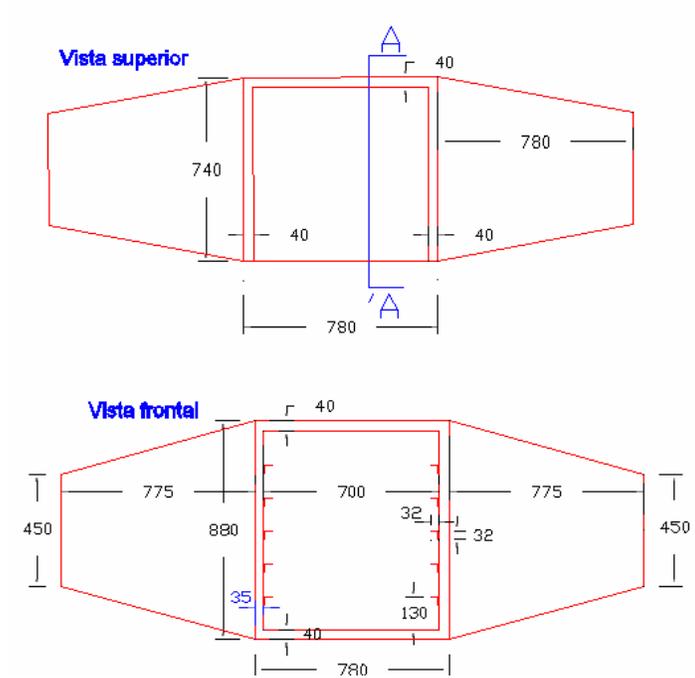


Figura 16 - Planta do Secador.

Perspectiva

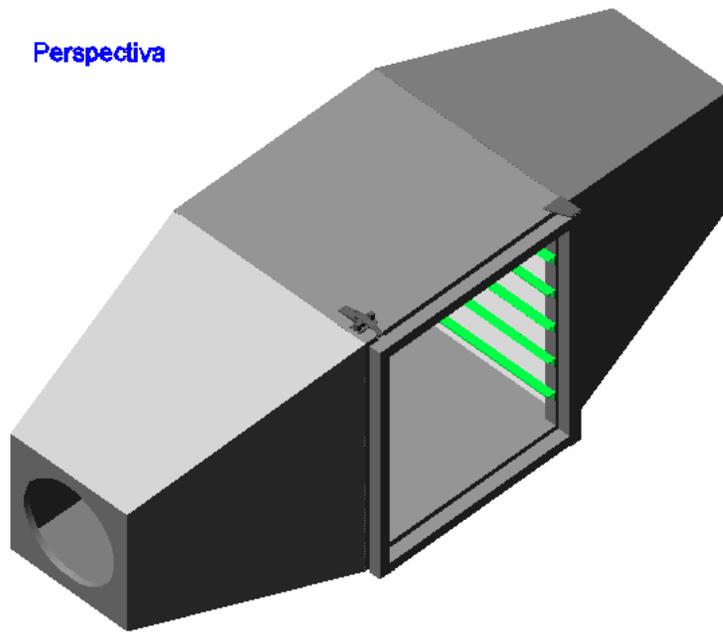


Figura 17 - Vista em perspectiva do secador.

ANEXO 2 – RESULTADOS DOS AJUSTES DAS CURVAS DE SECAGEM

Tabela 11 - Equações de regressão encontradas para cada modelo

MODELO	T (°C)	V (m ³ .s ⁻¹)	Equação
NEWTON MR = EXP(-Kt)	70	0,006	mr = exp(-0,01270146t)
		0,02	mr = exp(-0,02675387t)
	60	0,006	mr=exp(0,01504126t)
		0,02	mr =exp(-0,01961081t)
	50	0,006	mr = exp(-0,0093189t)
		0,02	mr = exp(-0,01392849t)
	40	0,006	mr = exp(-0,001986701t)
		0,02	mr = exp(-0,00652254t)
PAGE MR = EXP(-Kt^n)	70	0,006	mr = exp(-0,001765074t^1,46324)
		0,02	mr = exp(-0,0129824t^1,194907)
	60	0,006	mr=exp(0,01504126t)
		0,02	mr =exp(-0,01961081t)
	50	0,006	mr = exp(-0,0093189t)
		0,02	mr = exp(-0,01392849t)
	40	0,006	mr = exp(-0,001755919*t^1.020495)
		0,02	mr = exp(-0,00652254t)
PAGE MODIFICADO MR = EXP(-(Kt)^n)	70	0,006	mr=exp(-(0,0131348t)^1,46496)
		0,02	mr =exp(-(0,02637246t)^1,192171)
	60	0,006	mr=exp(0,01504126t)
		0,02	mr =exp(-0,01961081t)
	50	0,006	mr = exp(-0,0093189t)
		0,02	mr = exp(-0,01392849t)
	40	0,006	mr =exp(-(0,001995834)t^1,023705)
		0,02	mr = exp(-0,00652254t)
HENDERSON E PABIS MR = A*EXP(-Kt)	70	0,006	mr = 1,066774exp(-0,01372567t)
		0,02	mr =1,029818exp(-0,02754016t)
	60	0,006	mr = 0,9250743exp(-0,01371094t)
		0,02	mr=0,8826497exp(-0,01681398t)
	50	0,006	mr=0,8773394exp(-0,007905775t)
		0,02	mr=1,009977exp(-0,01408246t)
	40	0,006	mr= 0,9600787exp(-0,001873838t)
		0,02	mr=0,791463exp(-0,004884191t)
LOGARÍTMICO MR = A*EXP(-Kt) + C	70	0,006	mr=2,407533exp(-0,003937236t) -1,391822
		0,02	mr=1,049712exp(-0,0261221t) - 0,02364886
	60	0,006	mr=0,8496271 exp(-0,0236355t) + 0,1495786
		0,02	mr=0,8229167exp(-0,03319765t) + 0,1544002
	50	0,006	mr=0,7839521 exp(-0,01615475t) + 0,1916112
		0,02	mr=0,9539807exp(-0,01885987t) +0,09626006
	40	0,006	mr= 10exp(-0,0001070016t) - 9,099753
		0,02	mr=0,752677exp(-0,009506284t) + 0,1452628

Tabela 11 (Continuação) -

MODELO	T (°C)	V (m ³ .s ⁻¹)	Equação	
DOIS TERMOS MR = A*EXP(-K ₀ t) + B*EXP(K ₁ t)	70	0,006	mr= 0,5333947exp(-0,01372674t) + + 0,5333947exp(-0,01372674t)	
		0,02	mr= 0,5149056exp(-0,02753995t) + + 0,5149056exp(-0,02753995t)	
	60	0,006	mr = 0,6105186exp(-0,03452673t) + + 0,4014835exp(-0,00583595t)	
		0,02	mr = 0,5405798exp(-0,06475167t) + + 0,4604647exp(-0,00816922t)	
	50	0,006	mr = 0,5469158exp(-0,02548512t) + + 0,4481656exp(-0,003554042t)	
		0,02	mr = 0,9539969exp(-0,01886175t) + + 0,09627603exp(-3.361662e-20)t)	
	40	0,006	mr = 0,4800395exp(-0,001873838t) + + 0,4800395exp(-0,001873841t)	
		0,02	mr = 0,5590746exp(-0,003306479t) + + 0,4236788exp(-0,03164769t)	
	DOIS TERMOS EXPONENCIAL MR = A*EXP(-Kt) + (1-A)*EXP(KAt)	70	0,006	mr= 1,005162exp(-0,0127018t) + + (1-1,005162)exp(-0,0127018 * 1,005162 *t)
			0,02	mr = 1,001823exp(-0,02675396t) + + (1-1,001823)exp(-0,02675396 * 1,001823t)
		60	0,006	mr = 1,000786exp(-0,0150412t) + + (1-1,000786)exp(-0,0150412 * 1,000786t)
			0,02	mr = 1,000535exp(-0,01961081t) + + (1-1,000535)exp(-0,01961081*1,000535t)
50		0,006	mr = 1,001463exp(-0,009318872t)+ + (1-1,001463)exp(-0,009318872*1,001463t)	
		0,02	mr = 1,001075exp(-0,0139284t)+ + (1-1,001075)exp(-0,0139284*1,001075t)	
40		0,006	mr= 0,9986143exp(-0,001986706t)+ + (1-0,9986143)exp(-0,001986706*0,9986143t)	
		0,02	mr=1,000259exp(-0,006522501*t)+ + (1-1,000259)*exp(-0,006522501*1,000259t)	
WANG E SING MR = A*t + Bt ²		70	0,006	mr =1 - 0,008909294*t +(1.237634e-05)*t ²
			0,02	mr = 1- 0,02206737*t +(1,362128e-04)*t ²
		60	0,006	mr =1- 0,01262578*t +(4.594408e-05)*t ²
			0,02	mr =1 -0,01509961*t +(6.297931e-05)*t ²
	50	0,006	mr =1 – 0,008522365*t +(2.213381e-05)*t ²	
		0,02	mr =1 – 0,01155304*t +(3.775019e-05)*t ²	
	40	0,006	mr = 1 -0,001607744*t+(6.669205e-07)*t ²	
		0,02	mr = 1-0,005122081*t +(7.304477e-06)*t ²	

Tabela 11 (Continuação) -

MODELO	T (°C)	V (m ³ .s ⁻¹)	Equação	
DIFUSÃO APROXIMADO MR = A*EXP(-Kt)+ (1-A)*EXP(-KBt)	70	0,006	mr = 0,9703709exp(-0,02731951*t)+ + (1-0,9703709)exp(-0,0273195*0,5056782*t)	
		0,02	mr = 0,985242exp(-0,04069742*t)+ + (1-0,985242)exp(-0,04069742*0,6883957*t)	
	60	0,006	mr = 0,8854372exp(-0,03809823*t)+ + (1-0,8854372)exp(-0,0380982*0,6308636*t)	
		0,02	mr = 0,8692921exp(-0,05365509*t)+ + (1-0,8692921)exp(-0,05365509*0,6768801*t)	
	50	0,006	mr = 0,8391634exp(-0,04007119*t)+ + (1-0,8391634)exp(-0,04007119*0,4547*t)	
		0,02	mr = 0,9192151exp(-0,03467664*t)+ + (1-0,9192151)exp(-0,03467664*0,5381229*t)	
	40	0,006	mr = 1,056762*exp(-0,001005833*t)+ + (1-1,056762)exp(-0,001005833*1,662114*t)	
		0,02	mr = (.4311318)*exp(-0,03445519*t) + (1-0,4311318)exp(-0,03445519*0,0976454*t)	
	HENDERSON E PABIS MODIFICADO MR = A*EXP(-Kt) + B*EXP(-Gt) + C*EXP(-Ht)	70	0,006	mr=(0,3555848)*exp(-1,372574e-02)*(t))+ + (0,3555848)*exp(-1,372574e-02)*(t))+ + (0,3555848)*exp(-1,372574e-02)*(t))
			0,02	mr=(0,3432738)*exp(-2,754026e-02)*(t))+ + (0,3432738)*exp(-2,754026e-02)*(t))+ + (0,3432738)*exp(-2,754026e-02)*(t))
		60	0,006	mr=(0,3621153)*exp(-3,452618e-02)*(t))+ + (0,248412)*exp(-3,452611e-02)*(t))+ + (0,4014742)*exp(-5,835804e-03)*(t))
			0,02	mr=(3,997509e-02)*exp(-4,982936e-21)*(t))+ + (0,4585863)*exp(-0,0104013)*(t))+ + (0,5027086)*exp(-6,903578e-02)*(t))
50		0,006	mr=(0,5469219)*exp(-2,548479e-02)*(t))+ + (0,3228583)*exp(-3,553951e-03)*(t))+ + (0,1253009)*exp(-3,554034e-03)*(t))	
		0,02	mr=(0,4957894)*exp(-0,01885986)*(t))+ + (0,4581913)*exp(-0,01885987)*(t))+ + (0,09626005)*exp(-2,117582e-21)*(t))	
40		0,006	mr = (0,3200263)*exp(-1,873846e-03)*(t))+ + (0,3200263)*exp(-1,873826e-03)*(t))+ + (0,3200263)*exp(-1,873848e-03)*(t))	
		0,02	mr=(0,1086043)*exp(-7,318894e-21)*(t))+ + (0,6302314)*exp(-6,57816e-03)*(t))+ + (.2610616)*exp(-7,294003e-02)*(t))	

Tabela 11 (Continuação) -

MODELO	T (°C)	V (m ³ .s ⁻¹)	Equação	
VERNA e outros MR = A*EXP(-Kt)+(1-A)*EXP(-Gt)	70	0,006	$mr = (103,7841)*\exp(-2,693285e-02)*(t) + (1-(103,7841))*\exp(-2,717034e-02)*(t)$	
		0,02	$mr = (1,186835)*\exp(-3,166168e-02)*(t) + (1-(1,186835))*\exp(-,7999994)*(t)$	
	60	0,006	$mr = (,3903823)*\exp(-5,684989e-03)*(t) + (1-(0,3903823))*\exp(-3,323368e-02)*(t)$	
		0,02	$mr = (,460163)*\exp(-8,164128e-03)*(t) + (1-(0,460163))*\exp(-6,460075e-02)*(t)$	
	50	0,006	$mr = (,4540142)*\exp(-3,609178e-03)*(t) + (1-(0,4540142))*\exp(-2,603433e-02)*(t)$	
		0,02	$mr = (1,025951)*\exp(-1,432898e-02)*(t) + (1-(1,025951))*\exp(-,8000801)*(t)$	
	40	0,006	$mr = (0,9538683)*\exp(-1,856171e-03)*(t) + (1-(0,9538683))*\exp(-1)*(t)$	
		0,02	$mr = (0,5691375)*\exp(-3,366173e-03)*(t) + (1-(0,5691375))*\exp(-3,450281e-02)*(t)$	
	MIDILLI e KUCUK MR = A*EXP(-Kt^n) + B*t	70	0,006	$mr = (0,9930)*\exp(-2,19494e-03)*(t^{1,3693}) + (-7,326325e-04)*t$
			0,02	$mr = (0,9959)*\exp(-5,5461e-03)*(t^{1,4795}) + (1,126361e-03)*t$
60		0,006	$mr = (1,0086)*\exp(-3,4618e-02)*(t^{0,84415}) + (4,942142e-04)*t$	
		0,02	$mr = (1,0015)*\exp(-8,9088e-02)*(t^{0,65083}) + (2,741816e-04)*t$	
50		0,006	$mr = (1,0026)*\exp(-3,1661e-02)*(t^{0,77680}) + (3,74156e-04)*t$	
		0,02	$mr = (1,0206)*\exp(-7,8872e-03)*(t^{1,1941}) + (6,929104e-04)*t$	
40		0,006	$mr = (0,85415)*\exp(-8,1315e-20)*(t^{1,4006}) + (-9,139138e-04)*t$	
		0,02	$mr = (0,5777)*\exp(-1,4704e-18)*(t^{1,409}) + (-1,079599e-03)*t$	

Tabela 12 - R^2 , MBE, RMSE e χ^2 para o modelo DIFUSÃO APROXIMADO, DOIS TERMOS e DOIS TERMOS EXPONENCIAL.

MODELO	TEMP °C	V (m ³ .s ⁻¹)	BEM	RMSE	χ^2	R ²
DIFUSÃO APROXIMADO	70	0,02	0,0000	0,0409	0,0029	0,9837
DIFUSÃO APROXIMADO	70	0,006	0,0000	0,0592	0,0052	0,9593
DIFUSÃO APROXIMADO	60	0,02	0,0000	0,0579	0,0045	0,9439
DIFUSÃO APROXIMADO	60	0,006	0,0000	0,0485	0,0031	0,9625
DIFUSÃO APROXIMADO	50	0,02	0,0000	0,0412	0,0022	0,9783
DIFUSÃO APROXIMADO	50	0,006	0,0000	0,0625	0,0047	0,9207
DIFUSÃO APROXIMADO	40	0,02	0,0012	0,0652	0,0052	0,9944
DIFUSÃO APROXIMADO	40	0,006	0,0000	0,0397	0,0020	0,9659
DOIS TERMOS	70	0,02	-0,0015	0,0395	0,0036	0,9848
DOIS TERMOS	70	0,006	-0,0058	0,0533	0,0051	0,9669
DOIS TERMOS	60	0,02	0,0000	0,0082	0,0001	0,9989
DOIS TERMOS	60	0,006	-0,0001	0,0149	0,0003	0,9965
DOIS TERMOS	50	0,02	0,0000	0,0390	0,0021	0,9806
DOIS TERMOS	50	0,006	0,0000	0,0090	0,0001	0,9983
DOIS TERMOS	40	0,02	0,0007	0,0147	0,0002	0,9947
DOIS TERMOS	40	0,006	-0,0024	0,0423	0,0024	0,9614
DOIS TERMOS EXPONENCIAL	70	0,02	0,0030	0,0414	0,0024	0,9833
DOIS TERMOS EXPONENCIAL	70	0,006	0,0061	0,0607	0,0047	0,9572
DOIS TERMOS EXPONENCIAL	60	0,02	0,0114	0,0767	0,0071	0,9015
DOIS TERMOS EXPONENCIAL	60	0,006	0,0058	0,0578	0,0039	0,9467
DOIS TERMOS EXPONENCIAL	50	0,02	0,0090	0,0504	0,0030	0,9676
DOIS TERMOS EXPONENCIAL	50	0,006	-0,0001	0,0672	0,0051	0,9083
DOIS TERMOS EXPONENCIAL	40	0,02	0,0063	0,0812	0,0070	0,8373
DOIS TERMOS EXPONENCIAL	40	0,006	-0,0078	0,0451	0,0026	0,9562

Tabela 13 - R², MBE, RMSE e χ^2 para o modelo de HENDERSON E PABIS.

MODELO	TEMP	V (m³.s⁻¹)	MBE	RMSE	χ^2	R²
HENDERSON E PABIS	70	0,006	0,13	-0,075472	-0,005811	0,9848
HENDERSON E PABIS	70	0,02	0,12125	0,0348902	-0,001473	0,9669
HENDERSON E PABIS	60	0,006	0,13	0,0515936	0,0099621	0,9269
HENDERSON E PABIS	60	0,02	0,12375	0,0686791	0,0148293	0,9574
HENDERSON E PABIS	50	0,006	0,1765	0,0596465	0,0071098	0,9678
HENDERSON E PABIS	50	0,02	0,11425	0,0494307	0,0083629	0,9447
HENDERSON E PABIS	40	0,006	0,18325	-0,072950	-0,002387	0,9324
HENDERSON E PABIS	40	0,02	0,13475	0,064208	0,0083132	0,9614
HENDERSON E PABIS MODIFICADO	70	0,006	0,13	-0,075467	-0,005799	0,9848
HENDERSON E PABIS MODIFICADO	70	0,02	0,12125	0,0348906	-0,001473	0,9669
HENDERSON E PABIS MODIFICADO	60	0,006	0,13	-0,011649	-7,982E-5	0,9989
HENDERSON E PABIS MODIFICADO	60	0,02	0,12375	0,0013404	2,917E-7	0,9965
HENDERSON E PABIS MODIFICADO	50	0,006	0,1765	-0,005393	-1,304E-5	0,9806
HENDERSON E PABIS MODIFICADO	50	0,02	0,11425	-0,006128	-7,143E-9	0,9983
HENDERSON E PABIS MODIFICADO	40	0,006	0,18325	-0,07295	-0,002387	0,9992
HENDERSON E PABIS MODIFICADO	40	0,02	0,13475	0,0018597	5,882E-09	0,9614

Tabela 14 - R^2 , MBE, RMSE e χ^2 para o modelo LOGARÍTIMICO, MIDILLI e KUCUK e NEWTON.

MODELO	TEMP	V (m^3, s^{-1})	MBE	RMSE	χ^2	R^2
LOGARÍTIMICO	70	0,02	0,0000	0,0391	0,0027	0,9851
LOGARÍTIMICO	70	0,006	0,0000	0,0194	0,0006	0,9956
LOGARÍTIMICO	60	0,02	0,0000	0,0263	0,0009	0,9884
LOGARÍTIMICO	60	0,006	0,0000	0,0201	0,0005	0,9936
LOGARÍTIMICO	50	0,02	0,0000	0,0390	0,0019	0,9806
LOGARÍTIMICO	50	0,006	0,0000	0,0157	0,0003	0,9950
LOGARÍTIMICO	40	0,02	0,0000	0,0269	0,0008	0,9822
LOGARÍTIMICO	40	0,006	-0,0004	0,0195	0,0005	0,9918
MIDILLI e KUCUK	70	0,02	-0,0002	0,0140	0,0005	0,9981
MIDILLI e KUCUK	70	0,006	0,0000	0,0137	0,0003	0,9978
MIDILLI e KUCUK	60	0,02	0,0001	0,0119	0,0002	0,9976
MIDILLI e KUCUK	60	0,006	0,0002	0,0206	0,0006	0,9932
MIDILLI e KUCUK	50	0,02	0,0007	0,0344	0,0017	0,9849
MIDILLI e KUCUK	50	0,006	0,0001	0,0113	0,0002	0,9974
MIDILLI e KUCUK	40	0,02	0,0000	0,1000	0,0113	0,7536
MIDILLI e KUCUK	40	0,006	0,0000	0,0312	0,0013	0,9790
NEWTON	70	0,02	0,0030	0,0414	0,0020	0,9833
NEWTON	70	0,006	0,0061	0,0607	0,0041	0,9572
NEWTON	60	0,02	0,0114	0,0767	0,0064	0,9015
NEWTON	60	0,006	0,0058	0,0578	0,0036	0,9467
NEWTON	50	0,02	0,0090	0,0504	0,0027	0,9676
NEWTON	50	0,006	0,0000	0,0672	0,0048	0,9083
NEWTON	40	0,02	0,0063	0,0812	0,0068	0,8373
NEWTON	40	0,006	-0,0078	0,0451	0,0025	0,9562

Tabela 15 - R², MBE, RMSE e χ^2 para o modelo de PAGE, PAGE MODIFICADO e VERNA e outros.

MODELO	TEMP	V (m ³ .s ⁻¹)	MBE	RMSE	χ^2	R ²
PAGE	70	0,02	0,0058	0,0321	0,0014	0,9899
PAGE	70	0,006	-0,0029	0,0169	0,0004	0,9967
PAGE	60	0,02	-0,0472	0,0954	0,0109	0,9899
PAGE	60	0,006	-0,0262	0,0660	0,0052	0,9967
PAGE	50	0,02	-0,0021	0,0517	0,0031	0,8476
PAGE	50	0,006	-0,0544	0,0860	0,0083	0,9305
PAGE	40	0,02	-0,0749	0,1122	0,0134	0,6897
PAGE	40	0,006	-0,0086	0,0450	0,0026	0,9564
PAGE MODIFICADO	70	0,02	0,0057	0,0321	0,0014	0,9899
PAGE MODIFICADO	70	0,006	-0,0029	0,0169	0,0004	0,9967
PAGE MODIFICADO	60	0,02	0,0114	0,0767	0,0071	0,9015
PAGE MODIFICADO	60	0,006	0,0058	0,0578	0,0039	0,9467
PAGE MODIFICADO	50	0,02	0,0090	0,0504	0,0030	0,9676
PAGE MODIFICADO	50	0,006	0,0000	0,0672	0,0051	0,9083
PAGE MODIFICADO	40	0,02	0,0063	0,0812	0,0070	0,8373
PAGE MODIFICADO	40	0,006	-0,0087	0,0450	0,0026	0,9564
VERNA e outros	70	0,02	0,0035	0,0284	0,0014	0,9922
VERNA e outros	70	0,006	-0,0031	0,0196	0,0006	0,9955
VERNA e outros	60	0,02	0,0001	0,0082	0,0001	0,9989
VERNA e outros	60	0,006	0,0009	0,0153	0,0003	0,9963
VERNA e outros	50	0,02	0,0092	0,0501	0,0032	0,9680
VERNA e outros	50	0,006	-0,0003	0,0091	0,0001	0,9983
VERNA e outros	40	0,02	0,0003	0,0150	0,0002	0,9944
VERNA e outros	40	0,006	-0,0025	0,0419	0,0023	0,9622

Tabela 16 - R², MBE, RMSE e χ^2 para modelo de WANG E SING.

MODELO	TEMP	V (m³.s⁻¹)	MBE	RMSE	χ^2	R²
WANG E SING	70	0,02	0,0038	0,0217	0,0007	0,9954
WANG E SING	70	0,006	0,0028	0,0199	0,0005	0,9954
WANG E SING	60	0,02	-0,0230	0,0914	0,0100	0,8602
WANG E SING	60	0,006	-0,0142	0,0657	0,0051	0,9313
WANG E SING	50	0,02	-0,0029	0,0526	0,0032	0,9646
WANG E SING	50	0,006	-0,0158	0,0619	0,0043	0,9223
WANG E SING	40	0,02	-0,0274	0,0919	0,0090	0,7915
WANG E SING	40	0,006	-0,0129	0,0418	0,0022	0,9623