



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS

**EFEITO DA TEMPERATURA DE SECAGEM
NO RENDIMENTO DO ÓLEO ESSENCIAL E TEOR DE 1,8-CINEOL
PRESENTES NAS FOLHAS DE *Eucalyptus camaldulensis***

Autora: Vanessa Trevizan Mochi

Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio Cremasco

Dissertação de Mestrado apresentada à
Faculdade de Engenharia Química, como parte dos
requisitos exigidos para obtenção do título de
Mestre em Engenharia Química.

Campinas - São Paulo
Outubro - 2005

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

M715e Mochi, Vanessa Trevizan
Efeito da temperatura de secagem no rendimento do óleo
essencial e teor de 1,8-cineol presente nas folhas de
Eucalyptus camaldulensis / Vanessa Trevizan Mochi.--
Campinas, SP: [s.n.], 2005.

Orientador: Marco Aurélio Cremasco
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Química.

1. Eucalipto. 2. Essências e óleos essenciais. 3. Plantas -
Desidratação. 4. Eucalipto – Secagem. I. Cremasco, Marco
Aurélio. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade
de Engenharia Química. III. Título.

Titulo em Inglês: Effect of drying air temperature on the yield of essential
oil and content of 1,8-cineol presents in the leaves of
Eucalyptus camaldulensis

Palavras-chave em Inglês: Eucalyptus camaldulensis, Cineol, Essential oil,
Fixed-bed dryer, Temperature

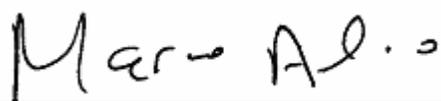
Área de concentração: Engenharia de Processos

Titulação: Mestre em Engenharia Química

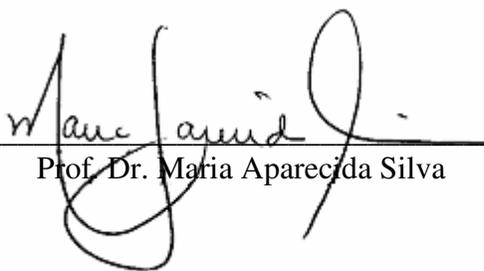
Banca examinadora: Maria Aparecida Silva, José Otávio Brito

Data da defesa: 17/10/2005

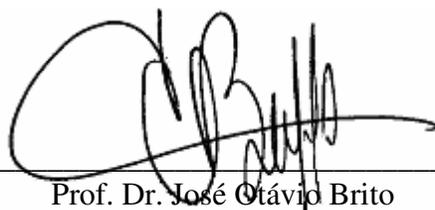
Dissertação de mestrado defendida por Vanessa Trevizan Mochi e aprovada em 17 de outubro de 2005 pela banca examinadora constituída pelos doutores:



Prof. Dr. Marco Aurélio Cremasco

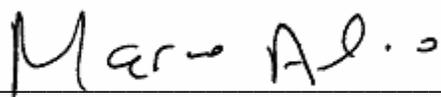


Prof. Dr. Maria Aparecida Silva



Prof. Dr. José Otávio Brito

Este exemplar corresponde à versão final da Dissertação de Mestrado em Engenharia Química.

A handwritten signature in black ink, reading "Marco Aurélio Cremasco". The signature is written in a cursive style with a horizontal line underneath it.

Prof. Dr. Marco Aurélio Cremasco

“Viver e não ter a vergonha de ser feliz,
cantar e cantar e cantar, a beleza de ser um eterno
aprendiz...”.

Gonzaguinha

AGRADECIMENTOS

A Deus, a Nossa Senhora e a São Bento.

Ao professor Doutor Marco Aurélio Cremasco pela orientação ética e profissional, paciência e incentivo.

Ao professor Doutor José Otávio Brito pela colaboração no desenvolvimento desta pesquisa.

Aos funcionários do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” em Piracicaba-SP, em especial a Talita, a Regina e o Udemilson que muito me auxiliaram.

Ao companheiro de laboratório Nazareno Braga por toda a atenção e ajuda.

Ao CNPq pelo auxílio financeiro prestado.

À Faculdade de Engenharia Química da UNICAMP.

Aos professores e funcionários do DTF/FEQ.

Ao meu pai, Emilio, à minha mãe, Maria Helena, ao meu irmão, Gustavo e à minha irmã, Gisele, pelo incentivo, compreensão, apoio, paciência, atenção e amor.

Aos meus avós, tios e tias matelândenses pelo carinho.

À Cláudia Fracalanza, à Andréa Ustra, ao Márcio Machado, à Juliana Ximenez e ao Rodrigo Garcia (Feijão) pelas conversas e amizade.

Ao grande amigo Rodrigo França por todo o companheirismo, dedicação, atenção, carinho e paciência.

Aos demais amigos (as).

A todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

SUMÁRIO	i
RESUMO.....	iii
ABSTRACT	iv
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS.....	vii
NOMENCLATURA.....	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Óleos Essenciais.....	4
2.1.1. Produção de óleo essencial no Brasil.....	6
2.1.2. Eucalipto	7
2.1.2.1. <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	10
2.1.3. 1,8-Cineol	10
2.1.4. Extração do óleo essencial	13
2.1.5. Caracterização dos óleos essenciais	14
2.2. Secagem.....	16
2.2.1. Cinética de secagem	17
2.2.2. Secagem de folhas medicinais, aromáticas e condimentares.....	20
3. MATERIAIS E MÉTODOS	23
3.1. Matéria-prima	23
3.2. Equipamentos	24
3.2.1. Balança analítica	24

3.2.2. Câmara para acondicionamento das folhas.....	24
3.2.3. Secador	24
3.2.4. Sistema para secagem das folhas	25
3.2.5. Destilador	26
3.2.6. Cromatógrafo gasoso	27
3.2.7. Estufa.....	27
3.2.8. Termopar de contato	28
3.3. Procedimento Experimental	28
3.3.1. Procedimento de secagem das folhas.....	28
3.3.2. Procedimento de extração do óleo essencial	29
3.3.3. Procedimento de análise do teor de 1,8-cineol no óleo essencial.....	29
3.3.4. Procedimento para determinação da umidade inicial das folhas	30
4. ANÁLISES DE RESULTADOS	31
4.1. Influência da temperatura na cinética de secagem	32
4.2. Rendimento em óleo essencial	37
4.3. Teor de 1,8-Cineol	40
4.4. Temperatura final das folhas de <i>E. camaldulensis</i>	42
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES	45
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
Apêndice A – DADOS EXPERIMENTAIS DOS ENSAIOS DE SECAGEM DAS FOLHAS DE <i>EUCALYPTUS CAMALDULENSIS</i>	50
Apêndice B – ANÁLISES CROMATOGRÁFICAS DO ÓLEO ESSENCIAL DE FOLHAS DE <i>EUCALYPTUS CAMALDULENSIS</i>	61

RESUMO

A secagem das folhas de *Eucalyptus camaldulensis*, cujo óleo essencial apresenta como componente principal o 1,8-cineol, é o enfoque da presente dissertação. O 1,8-cineol, conhecido também como cineol e eucaliptol, pode ser utilizado, por exemplo, no tratamento de doenças das vias respiratórias.

Este estudo objetiva analisar experimentalmente a influência da temperatura do ar de secagem no rendimento do óleo essencial de *Eucalyptus camaldulensis* e no teor de 1,8-cineol nele presente, uma vez que o processo de secagem de plantas aromáticas auxilia na conservação das características originais por um tempo maior e aumenta o rendimento do óleo essencial quando comparado com a extração realizada com a folha úmida ou até mesmo com a folha seca naturalmente.

O procedimento experimental consiste da secagem das folhas de *E. camaldulensis* em um secador tipo leito fixo, seguida da extração do óleo essencial em um destilador tipo Clevenger e, por fim, da análise por cromatografia gasosa para determinar e quantificar o 1,8-cineol no óleo essencial.

Durante os ensaios experimentais de secagem, os seguintes parâmetros operacionais foram fixados: velocidade do ar de secagem a 0,60 m/s, carga de folhas úmidas em 100 g e tempo de secagem de 60 minutos. Foram efetuados 16 experimentos, utilizando-se temperaturas do ar de secagem entre 35 e 70 °C.

Com o estudo, foi possível verificar que o rendimento em óleo essencial extraído de folhas de *Eucalyptus camaldulensis* aumenta com a elevação da temperatura do ar de secagem. O mesmo pode ser observado para o teor do 1,8-cineol presente no óleo essencial. Finalmente, concluiu-se que, dentre as temperaturas do ar de secagem estudadas, 65° C foi a que forneceu melhores resultados.

Palavras-chave: *Eucalyptus camaldulensis*; Óleo essencial; Cineol; Secagem leito fixo.

ABSTRACT

The drying of leaves of *Eucalyptus camaldulensis*, whose essential oil presents 1,8-cineol as main component, is the subject of this work. The 1,8-cineol, also known as cineol and eucaliptol, can be used, for example, in the treatment of respiratory diseases.

The objective of this study is to analyze experimentally the influence of the drying air temperature on the *Eucalyptus camaldulensis* outcome of essential oil and the content of 1,8-cineol. To dry aromatic plants results in the conservation of the original characteristics for a bigger period of time and also increases the outcome of the essential oil, compared to the extraction carried out with moist leaves or even with naturally dried leaves.

The experimental procedure consists of drying leaves of *E. camaldulensis* in a fixed-bed dryer, followed by the extraction of the essential oil in a Clevenger type distiller and, finally, of the analysis by gaseous chromatography in order to determine and quantify 1,8-cineol content in the essential oil. During the drying experiments, the following operational parameters have been fixed: drying air speed of 0.60 m/s, load of moist leaves as 100 g and drying time of 60 minutes. Sixteen experiments have been carried out, with drying air temperatures comprised between 35 and 70° C.

With the study, it was possible to verify that the outcome of essential oil extracted from *Eucalyptus camaldulensis* leaves increases with the increasing drying air temperature. The same can be observed for the content of 1,8-cineol present in the essential oil. Finally, one concluded that, among the drying air temperatures studied, 65° C offered the best results.

Key-word: *Eucalyptus camaldulensis*; Essential oil; Cineol; Fixed-bed dryer.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Estrutura molecular do 1,8-cineol.	11
Figura 2.2: Curva de secagem típica (Perry e Chilton, 1973).....	18
Figura 2.3: Curva da taxa de secagem em função do tempo (Perry e Chilton, 1973)	19
Figura 2.4: Curva da taxa de secagem (Perry e Chilton, 1973)	19
Figura 3.1: Folhas de <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	23
Figura 3.2: Cesto utilizado para dispor as folhas no secador.....	24
Figura 3.3: Secador de leito fixo utilizado para secar as folhas.....	25
Figura 3.4: Sistema de secagem.....	26
Figura 3.5: Destilador tipo Clevenger.....	27
Figura 4.1: Cinética de secagem das folhas de <i>E.camaldulensis</i> em diferentes temperaturas do ar de secagem ao decorrer de 60 minutos	34
Figura 4.2: Taxa de secagem das folhas de <i>E.camaldulensis</i> em diferentes temperaturas do ar de secagem ao decorrer de 60 minutos	36
Figura 4.3: Taxa de secagem das folhas de <i>E. camaldulensis</i> em função da umidade adimensional.....	36
Figura 4.4: Rendimento em óleo essencial adimensional em função da temperatura do ar de secagem.....	39
Figura 4.5: Teor de cineol adimensional em função do rendimento em óleo essencial adimensional para cada temperatura do ar de secagem das folhas.....	41
Figura 4.6: Temperaturas adimensionais das folhas ao final da secagem e do ar de saída do secador em função da temperatura do ar de secagem das folhas	43
Figura B1: Cromatograma do óleo essencial de <i>E. camaldulensis</i> antes da secagem em leito fixo (amostra 01)	62
Figura B2: Cromatograma do óleo essencial de <i>E. camaldulensis</i> antes da secagem em leito fixo (amostra 02)	63
Figura B3: Cromatograma do óleo essencial de <i>E. camaldulensis</i> pós-secagem em leito fixo à 35° C (amostra 01)	64

Figura B4: Cromatograma do óleo essencial de <i>E. camaldulensis</i> pós-secagem em leito fixo à 40° C (amostra 02)	65
Figura B5: Cromatograma do óleo essencial de <i>E. camaldulensis</i> pós-secagem em leito fixo à 45° C (amostra 01)	66
Figura B6: Cromatograma do óleo essencial de <i>E. camaldulensis</i> pós-secagem em leito fixo à 45° C (amostra 02)	67
Figura B7: Cromatograma do óleo essencial de <i>E. camaldulensis</i> pós-secagem em leito fixo à 50° C (amostra 01)	68
Figura B8: Cromatograma do óleo essencial de <i>E. camaldulensis</i> pós-secagem em leito fixo à 50° C (amostra 02).....	69
Figura B9: Cromatograma do óleo essencial de <i>E. camaldulensis</i> pós-secagem em leito fixo à 55° C (amostra 01)	70
Figura B10: Cromatograma do óleo essencial de <i>E. camaldulensis</i> pós-secagem em leito fixo à 55° C (amostra 02)	71
Figura B11: Cromatograma do óleo essencial de <i>E. camaldulensis</i> pós-secagem em leito fixo à 60° C (amostra 01)	72
Figura B12: Cromatograma do óleo essencial de <i>E. camaldulensis</i> pós-secagem em leito fixo à 60° C (amostra 02)	73
Figura B13: Cromatograma do óleo essencial de <i>E. camaldulensis</i> pós-secagem em leito fixo à 65° C (amostra 01)	74
Figura B14: Cromatograma do óleo essencial de <i>E. camaldulensis</i> pós-secagem em leito fixo à 65° C (amostra 02)	75
Figura B15: Cromatograma do óleo essencial de <i>E. camaldulensis</i> pós-secagem em leito fixo à 70° C (amostra 01)	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Áreas plantadas com eucalipto no Brasil.....	6
Tabela 2.2: Principais espécies de eucalipto utilizadas para a produção de óleo essencial.....	8
Tabela 2.3: Monoterpenos	13
Tabela 2.4: Sesquiterpenos.....	13
Tabela 2.5: Especificações para os óleos ricos em 1,8-cineol.....	16
Tabela 4.1: Coeficientes dos modelos ajustados para o teor de umidade das folhas de <i>E. camaldulensis</i> para os períodos à taxa de secagem constante e decrescente.....	35
Tabela 4.2: Rendimento em óleo essencial extraído das folhas e <i>E. camaldulensis</i> para as temperaturas do ar de secagem de 35°C e 40°C.	38
Tabela 4.3: Rendimento em óleo essencial extraído das folhas e <i>E. camaldulensis</i> para as temperaturas do ar de secagem de 45°C a 70°C.	38
Tabela 4.4: Teor de cineol no óleo essencial de <i>E. camaldulensis</i> para as temperaturas do ar de secagem de 35°C e 40°C.....	40
Tabela 4.5: Teor de cineol no óleo essencial de <i>E. camaldulensis</i> para as temperaturas do ar de secagem de 45°C a 70°C.....	41
Tabela 4.6: Temperaturas das folhas no final do processo de secagem e do ar na saída do secador para as diferentes temperaturas do ar de secagem	43
Tabela A1: Dados experimentais dos ensaios de secagem das folhas de <i>Eucalyptus camaldulensis</i> realizados, utilizando-se as temperaturas do ar de secagem de 35°C, 40°C, 45°C e 50°C.....	51
Tabela A2: Dados experimentais dos ensaios de secagem das folhas de <i>Eucalyptus camaldulensis</i> realizados, utilizando-se as temperaturas do ar de secagem de 55°C, 60°C, 65°C e 70°C.....	52
Tabela A3: Média dos dados experimentais dos ensaios de secagem das folhas de <i>Eucalyptus camaldulensis</i> realizados, utilizando-se a temperatura do ar de secagem de 35°C e outros dados calculados para a mesma temperatura.	53
Tabela A4: Média dos dados experimentais dos ensaios de secagem das folhas de <i>Eucalyptus camaldulensis</i> realizados, utilizando-se a temperatura do ar de secagem de 40°C e outros dados calculados para a mesma temperatura.	54

- Tabela A5:** Média dos dados experimentais dos ensaios de secagem das folhas de *Eucalyptus camaldulensis* realizados, utilizando-se a temperatura do ar de secagem de 45°C e outros dados calculados para a mesma temperatura. **55**
- Tabela A6:** Média dos dados experimentais dos ensaios de secagem das folhas de *Eucalyptus camaldulensis* realizados, utilizando-se a temperatura do ar de secagem de 50°C e outros dados calculados para a mesma temperatura. **56**
- Tabela A7:** Média dos dados experimentais dos ensaios de secagem das folhas de *Eucalyptus camaldulensis* realizados, utilizando-se a temperatura do ar de secagem de 55°C e outros dados calculados para a mesma temperatura. **57**
- Tabela A8:** Média dos dados experimentais dos ensaios de secagem das folhas de *Eucalyptus camaldulensis* realizados, utilizando-se a temperatura do ar de secagem de 60°C e outros dados calculados para a mesma temperatura. **58**
- Tabela A9:** Média dos dados experimentais dos ensaios de secagem das folhas de *Eucalyptus camaldulensis* realizados, utilizando-se a temperatura do ar de secagem de 65°C e outros dados calculados para a mesma temperatura. **59**
- Tabela A10:** Média dos dados experimentais dos ensaios de secagem das folhas de *Eucalyptus camaldulensis* realizados, utilizando-se a temperatura do ar de secagem de 70°C e outros dados calculados para a mesma temperatura. **60**

NOMENCLATURA

1. Símbolos

a – constante da equação da reta, Equação 4.7.

A – área do leito de secagem transversal ao fluxo de ar, L^2 .

b – constante da equação da reta, Equação 4.7.

c – constante da equação de Page, Equação 4.8.

k – constante da equação de Page, Equação 4.8.

m – massa de folhas de *Eucalyptus camaldulensis*, M.

n – constante da equação de page, Equação 4.8.

Rd – rendimento em óleo essencial, %.

t – tempo de secagem, T.

T – temperatura do ar de secagem, θ .

U – teor de umidade das folhas de *Eucalyptus camaldulensis* em base úmida, $M.M^{-1}$.

v – velocidade do ar de secagem, $L.T^{-1}$.

W – taxa de secagem, $M.L^{-2}.T^{-1}$.

X – teor de umidade das folhas de *Eucalyptus camaldulensis* em base seca, $M.M^{-1}$.

2. Subscritos

ad –adimensional.

ff – folhas frescas.

fs – folhas após serem submetidas ao processo de secagem.

0 – inicial.

i – tempo de secagem em questão.

Capítulo 1 - INTRODUÇÃO

Os óleos essenciais fazem parte de matérias-primas das indústrias ligadas aos setores farmacêutico, de perfumaria, de condimentos, entre outros setores. Os óleos essenciais existem naturalmente em diversos órgãos das plantas, principalmente nas folhas, consistindo em uma mistura de mais de cem substâncias, quimicamente complexas e variáveis na sua composição. Inúmeros produtos industriais, como cremes dentais, perfumes, produtos farmacêuticos, detergentes e desinfetantes, têm em sua composição, por exemplo, óleo essencial de eucalipto ou seus derivados (Silva e Oliveira, 2003).

A planta de eucalipto é utilizada, usualmente, na silvicultura (madeira, combustível, polpa de papel), no reflorestamento e como fonte de óleos essenciais. Já foram identificadas mais de 600 espécies do gênero *Eucalyptus*, mas um número inferior a 20 espécies é explorado comercialmente em todo o mundo para a produção de óleos essenciais (Boland *et. al*, 1991).

Para o Brasil, devido à grande área ocupada por reflorestamentos com eucalipto e à tendência para o aumento progressivo dessa cultura, os óleos essenciais de eucalipto se tornam um produto de crescente interesse econômico, contribuindo para a valorização da exploração florestal. Além disto, depois da extração do óleo, as folhas fornecem energia para geração de vapor e também são usadas como adubo orgânico para as próprias florestas. A atividade de produção de óleo essencial permite a geração de receitas para o proprietário da terra, desde o primeiro ano da atividade florestal, antecipando receitas e fixando de forma mais perene e contínua a mão-de-obra rural (Brito, 2002).

Sob o ponto de vista da sua composição química, os óleos essenciais de eucalipto são misturas de componentes, envolvendo 50 ou mais compostos orgânicos voláteis, entre os quais: hidrocarbonetos, álcoois, aldeídos, cetonas, ácidos e ésteres (Doran, 1991).

O óleo de eucalipto é obtido por simples destilação de suas folhas mediante o uso de vapor d'água. A destilação, como é aplicada na produção de óleos essenciais, tem por finalidade separar a parte volátil do óleo essencial da massa restante não-volátil, que permanece nas partes da planta (Silva e Oliveira, 2003).

Os dois pontos mais importantes a considerar com a finalidade de exploração das folhas de eucalipto para a produção de óleo essencial são: rendimento de óleo por quilograma de folha e composição química do óleo (Silva e Oliveira, 2003).

O rendimento de óleo para o *Eucalyptus smithii*, por exemplo, é de aproximadamente 2%, podendo variar com a umidade da folha. Se deixar a folha secar ao natural, por dois ou três dias, tem-se um aumento do rendimento (Silva e Oliveira, 2003).

Estudos com *Eucalyptus citriodora*, mostraram que a destilação alcança rendimentos de óleo essencial elevado quando ocorre a diminuição do conteúdo de umidade inicial por meio da secagem forçada de suas folhas (Braga *et al.*, 2002), sendo que o mesmo ocorre com a espécie *Eucalyptus staigeriana* (Braga *et al.*, 2004).

O processo de secagem de plantas aromáticas promove a conservação das propriedades físicas e químicas durante um maior período de tempo. No caso de plantas produtoras de óleo essencial, a secagem se torna mais criteriosa em razão da volatilidade dos óleos essenciais. Assim, a definição de metodologias mais apropriadas para cada espécie é necessária, visando assegurar os teores de substâncias ativas (Corrêa *et al.*, 2004).

Baseado em estudos prévios de Braga *et al.* (2002; 2004 e 2005), nos quais concluiu-se que a secagem aumenta o rendimento de extração do óleo essencial por coação e sabendo que a secagem mantém as folhas em condições de armazenamento, teve-se por objetivo no presente trabalho estudar a secagem de folhas *Eucalyptus camaldulensis*, bem como o efeito da temperatura do agente de aquecimento (ar) em folhas de *Eucalyptus camaldulensis*.

Para tanto utilizou-se um secador do tipo leito fixo visando avaliar a influência que este parâmetro operacional exerce no rendimento do óleo essencial presente nas folhas, oriundo da extração por destilação a vapor, bem como na composição do 1,8-cineol, principal espécie química presente neste óleo essencial.

A escolha desta espécie de eucalipto reside no fato de ela ser pouco difundida no Brasil para exploração comercial, bem como o seu óleo essencial apresentar o 1,8-cineol, conhecido popularmente como eucaliptol, sendo utilizado, entre outras aplicações, como anti-séptico bucal (Spanó *et al.*, 2005).

O 1,8-cineol e o óleo de eucalipto rico de eucaliptol possuem índice terapêutico bastante alto e propriedades anti-sépticas e antifúngicas, e podem melhorar a função respiratória durante infecção ou alergia (Balacs, 1997).

O estudo focou avaliar somente a temperatura de secagem do ar, fixando-se os outros parâmetros operacionais, tais como carga úmida de folhas, velocidade do ar de secagem e tempo de secagem.

A base para tal definição foram os trabalhos de Braga e Cremasco (2002), Braga *et al.* (2002; 2004 e 2005), que mostram, no caso de secagem de folhas de *Eucalyptus citriodora*, que o parâmetro que exerce maior influência na cinética de secagem bem como na composição de óleos essenciais é a temperatura do ar de secagem.

Capítulo 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Considerando-se a importância da produção de óleo essencial de eucalipto para a economia do País, é urgente e estratégico o desenvolvimento de pesquisas que aumentem o rendimento e a qualidade do óleo, para garantir a competitividade e estimular o setor.

2.1. Óleos Essenciais

Relatos apontam que os óleos essenciais são conhecidos e utilizados desde antes da era cristã, em especial pelos países orientais, como Egito, Pérsia, Japão, China e Índia. Contudo, somente em meados do século XVIII, iniciaram-se as caracterizações químicas dos mesmos, promovendo a evolução de conhecimentos técnicos sobre óleos essenciais. Atualmente é bastante grande o número de plantas conhecidas para a produção de óleos essenciais em bases econômicas. Essa ocorrência vai desde plantas rasteiras, como é o caso da hortelã, até plantas de porte arbóreo, como o eucalipto (Vitti e Brito, 2003).

O interesse pelos óleos essenciais está baseado na possibilidade da obtenção de compostos aromáticos, os quais, de uma forma ou de outra, fazem parte do nosso dia-a-dia. Muitos desses compostos são atualmente obtidos sinteticamente seja por razões econômicas seja por dificuldades na continuidade na obtenção das plantas produtoras, bem como pelo interesse na obtenção de novos componentes aromáticos. Entretanto, a busca pelo naturalismo tem feito crescer a demanda pelos produtos originais obtidos diretamente das plantas. Ademais, há dificuldades para que os aromas sintéticos aproximem-se da perfeição dos aromas naturais, além das dúvidas ainda existentes sobre os efeitos deletérios ao ser humano, questão esta que cresce fortemente em nível mundial (Brito, 2002).

O estudo de óleos essenciais como matéria-prima básica para a indústria de fragrância e alimentícia tem se transformado em uma das áreas de investigação e desenvolvimento para muitos países (Boland *et. al*, 1991).

Os óleos essenciais, também chamados de essência, são líquidos voláteis, etéreos, refrigerantes e de odor característico. Eles se acumulam em certos tecidos no interior das células vegetais ou de reservatórios de essência, sob a epiderme dos pêlos das glândulas ou nos espaços intercelulares (Boland *et. al*, 1991). Podem ser encontrados em algumas partes

específicas ou em toda a planta e dependendo do órgão da planta do qual é retirado, o óleo essencial tem uma composição química, caracteres físico-químicos e odores diferenciados. A *International Standard Organization* (ISO) os definem como produtos obtidos de partes das plantas, por meio da destilação por arraste a vapor d'água, bem como produtos obtidos por pressão dos pericarpos de frutos cítricos.

Essas substâncias são, geralmente, caracterizadas por um sabor ácido e picante. Quando recentemente extraídas são incolores ou com uma leve coloração amarela, sendo uma das poucas exceções o óleo essencial de camomila que é azulado; normalmente, são instáveis na presença de ar, luz, calor, umidade e metais (Vitti e Brito, 2003).

Quimicamente, um óleo essencial é uma mistura heterogênea e complexa que possui de 50 a 300 constituintes voláteis distribuídos principalmente entre terpenóides (mono e sesquiterpenos), lignóides (derivados alil e propenil), hidrocarbonetos, fenóis, éteres, ésteres, aldeídos, cetonas, álcoois e ácidos (Faria, 1998; Araújo, 1993). Alguns componentes estão presentes em maior quantidade dependendo da espécie do óleo essencial e são, então, denominados componentes principais; os que aparecem em menor quantidade são denominados componentes traços. Assim, na maioria das vezes, a exploração econômica de uma planta produtora de óleo tem por objetivo a obtenção do componente principal desta.

Para o Brasil, os óleos essenciais de eucalipto são produtos com interesse econômico crescente, contribuindo para a valorização da exploração florestal, visto que há uma grande área ocupada por reflorestamentos com eucalipto e existe uma tendência para um alargamento progressivo dessa cultura (Silva e Oliveira, 2003). A Tabela 2.1 apresenta as áreas plantadas com eucalipto no Brasil.

Segundo levantamentos da FAO, mais de 90 países possuem programas de reflorestamento com eucalipto; 58 deles o fazem em grande escala, tendo a sua madeira como matéria-prima básica para a maioria de suas necessidades. Atualmente existem 13.698.000 hectares de eucaliptos plantados em todo o mundo (Bertola, 2004).

Tabela 2.1: Áreas plantadas com eucalipto no Brasil.

Estado	Área Plantada (hectares)	Percentual (%)
Minas Gerais	1.080.000	51,6
São Paulo	574.029	19,4
Bahia	213.000	7,2
Espírito Santo	152.000	5,1
Rio Grande do Sul	116.025	3,9
Mato Grosso do Sul	80.000	2,7
Paraná	67.038	2,3
Pará	46.000	1,5
Santa Catarina	42.291	1,4
Amapá	13.000	0,4
Demais Estados	129.000	4,4
<i>TOTAL</i>	<i>2.955.000</i>	<i>100</i>

Fonte: Bertola (2004).

2.1.1. Produção de óleo essencial no Brasil

A produção de óleo essencial no Brasil teve início no final de 1920, tendo como base o puro extrativismo de essências nativas, principalmente do pau-rosa. Durante a Segunda Guerra Mundial, o país passou a ter a atividade mais organizada, com a introdução de outras culturas para a obtenção de óleos, como: menta, laranja, canela sassafrás, eucalipto, capim-limão, patchouli etc. Isso ocorreu em função da grande demanda imposta pelas indústrias do mundo ocidental, que se viram privadas de suas tradicionais fontes de suprimento, em virtude da desorganização do transporte e do comércio, ocasionada pela guerra. Dessa forma, a produção de óleos essenciais no Brasil se consolidou por meio do atendimento do mercado externo. Também no mercado interno a indústria nacional tinha dificuldades para importar tais produtos, ocasionando um estímulo adicional à expansão da produção. Na década de 50, instalaram-se no país algumas empresas internacionais especializadas no aproveitamento de óleos essenciais para a produção de fragrâncias e de aromas, destinadas às indústrias de perfumes, cosméticos, produtos alimentares, farmacêuticos e de higiene. Este fato provocou aumento do consumo interno dos óleos essenciais, dando maior estabilidade à produção brasileira (Brito, 2002).

A produção nacional recente de óleo de eucalipto é estimada em pouco mais de mil toneladas anuais e está baseada em pequenas e médias empresas, utilizando cerca de 10

mil hectares de florestas, gerando aproximadamente 10 mil empregos diretos, envolvendo cifras que variam em torno de 4 milhões de dólares, com quase a metade devido às exportações. Nessa estimativa, considera-se, em média, que apenas quatro empresas respondem por 60% da produção nacional e os pequenos produtores de óleos essenciais respondem pelos 40% restantes. Os maiores produtores mundiais de óleo essencial de eucalipto são China, Austrália, Espanha, Portugal e Brasil; os maiores importadores são França, Estados Unidos, Suíça e Espanha. Os maiores compradores de óleo brasileiro são Estados Unidos (31%), Espanha (29%), Colômbia (22%), México (6%), Suíça (3%), Turquia (3%) e outros (3%). Fica evidente que o Brasil ainda não explorou o grande potencial do mercado europeu, podendo aumentar, em muito, as exportações para o Velho Continente (Silva e Oliveira, 2003).

2.1.2. Eucalipto

Do ponto de vista da sua composição química, os óleos essenciais de eucalipto são misturas complexas de diversas substâncias, e variam com as espécies, genética, tipo e idade da folha, condições ambientais (clima, solo, luz, calor e umidade) e processo de extração. Predominam nesses óleos os hidrocarbonetos terpênicos monocíclicos, derivados do isopropeno (Silva e Oliveira, 2003).

Entre aproximadamente 600 espécies de eucalipto descritas, pouco mais de 200 foram examinadas com relação à produção e ao teor de óleo essencial, e menos de 20 têm sido citadas como usadas na exploração comercial (Doran, 1991). A Tabela 2.2 apresenta as principais espécies de eucalipto produtoras de óleo essencial.

Os óleos essenciais provenientes do eucalipto ocorrem, principalmente, nas folhas, sendo estes produzidos em pequenas cavidades globulares, chamadas glândulas. Estas se encontram distribuídas em todo parênquima foliar da maioria das espécies de eucalipto. Em algumas espécies, essas glândulas podem ser visualizadas como pequenos pontos translúcidos quando a folha é observada contra a luz. A origem biossintética dos óleos essenciais de eucalipto relaciona-se com o seu metabolismo secundário, que não é considerado como fundamental para a manutenção da vida do organismo, porém, confere às

plantas a capacidade de adaptação às condições do meio em que vive. No caso dos eucaliptos, especificamente, as referências são as de que a ocorrência do óleo essencial estaria relacionada com a defesa da planta contra insetos, resistência ao frio quando no estágio de plântulas, ao efeito alelopático e à redução da perda de água, resultados estes que dependem ainda da realização de estudos mais comprobatórios (Doran, 1991).

Tabela 2.2: Principais espécies de eucalipto utilizadas para a produção de óleo essencial.

Espécies	Componente Principal	Rendimento (%)
Óleos Medicinais		
<i>E. camaldulensis</i>	Cineol	0,3-2,8
<i>E. cnerifolia</i>	Cineol	2,0
<i>E. dives (var. cineol)</i>	Cineol	3,0-6,0
<i>E. dumosa</i>	Cineol	1,0-2,0
<i>E. elaeophara</i>	Cineol	1,5-2,5
<i>E. globulus</i>	Cineol	0,7-2,4
<i>E. leucoxylon</i>	Cineol	0,8-2,5
<i>E. oleosa</i>	Cineol	1,0-2,1
<i>E. polybractes</i>	Cineol	0,7-5,0
<i>E. radiata subesp. radiata (var. cineol)</i>	Cineol	2,5-3,5
<i>E. sideroxylon</i>	Cineol	0,5-2,5
<i>E. smithii</i>	Cineol	1,0-2,2
<i>E. tereticornis</i>	Cineol	0,9-1,0
<i>E. viridis</i>	Cineol	1,0-1,5
Óleos industriais		
<i>E. dives (var. felandreno)</i>	Felandreno	1,5-5,0
<i>E. dives (var. piperitona)</i>	Piperitona	3,0-6,5
<i>E. elata (var. piperitona)</i>	Piperitona	2,5-5,0
<i>E. radiata subesp. radiata (var. felandreno)</i>	Felandreno	3,0-4,5
Óleos para perfumaria		
<i>E. citriodora (var. citronelal)</i>	Citronelal	0,5-2,0
<i>E. macarthurii</i>	Ac. de geranil	0,2-1,0
<i>E. staigeriana</i>	Citral (a + b)	1,2-1,5

*Rendimento base de massa de folha fresca

Fonte: Extraída parcialmente de Doran (1991)

Os óleos essenciais de eucalipto podem ser divididos em óleos medicinais, óleos industriais e óleos para perfumaria conforme sua utilização, como apresentado na Tabela 2.1. Os óleos medicinais são aqueles que apresentam como componente principal o 1,8-cineol em quantidade mínima de 70% e são destinados à fabricação de produtos

farmacêuticos (inalantes, estimulantes de secreção nasal, produtos de higiene bucal ou, simplesmente, com função de dar sabor e aroma aos medicamentos). A principal espécie produtora deste tipo de óleo no Brasil é o *Eucalyptus globulus*, havendo também algumas referências de extração a partir do *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus smithii*. Os óleos industriais têm como componente principal o felandreno, que é usado como solvente e matéria-prima na produção de desinfetantes e desodorizantes, e a piperitona, a partir da qual é fabricado o timol (preservativos para gomas, pastas, colas etc.) e o mentol (aromatizante de produtos medicinais). No Brasil não ocorre exploração intensiva de espécies que produzem este tipo de óleo. Os óleos de eucalipto também estão presentes nas indústrias de perfumaria, fazendo parte da composição de perfumes para diversos fins, sendo mais usado nos perfumes de limpeza, como sabões e desinfetantes. O *Eucalyptus citriodora* é a principal espécie explorada no Brasil para a produção deste tipo de óleo, apresentando como componente principal o citronelal. O *Eucalyptus staigeriana* também pertence a este grupo e é cultivado em pequena escala no País, sendo o citral o seu principal componente químico (Vitti e Brito, 2003).

Embora quimicamente não apresentem a mesma constituição, os óleos essenciais de eucalipto encerram um grande número de propriedades físicas e químicas comuns: são solúveis em álcool, em éter de petróleo, em benzeno e em solventes orgânicos; são praticamente insolúveis em água; são voláteis e destilados com o uso do vapor d'água; são menos densos do que a água; fervem a temperaturas superiores a 100 °C; são opticamente ativos; ardem com chama fuliginosa; e, apresentam colorações diversas segundo a espécie, grau de umidade das folhas e idade da planta (Silva e Oliveira, 2003).

Os óleos essenciais de eucalipto geralmente são extraídos das folhas adultas e juvenis, junto com os ramos terminais, por meio de um sistema de arraste a vapor d'água. Neste sistema a água e o óleo são isolados, por diferença de densidade, em que o óleo fica sobre a água podendo, então, ser retirado. Os melhores óleos são obtidos nas épocas do ano com pouca umidade e de folhas já adultas (Silva e Oliveira, 2003).

Para a extração de óleo essencial no Brasil são cultivadas as seguintes espécies, principalmente: *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus staigeriana*.

Porém, outras espécies vêm sendo estudadas para uma possível implantação futura destas no mercado, como é o caso do *Eucalyptus camaldulensis*.

2.1.2.1 *Eucalyptus camaldulensis*

Ainda pouco difundido no Brasil para exploração comercial, o *E. camaldulensis* tem sido estudado devido ao 1,8-cineol, conhecido também como eucaliptol, componente principal do seu óleo essencial. O *E. camaldulensis* é uma das espécies mais adequadas para zonas críticas de reflorestamento, onde ocorrem deficiências hídricas e edáficas, situações consideradas extremamente limitantes para o desenvolvimento de outras espécies. A madeira é utilizada na serraria, dormentes, postes, lenhas e carvão. Não é recomendada a sua utilização na indústria de celulose e papel. As propriedades de resistência mecânica da madeira são elevadas e apresenta baixa permeabilidade. A espécie já foi introduzida, com relativo sucesso, em vários países e, de forma geral, apresentou o seguinte comportamento: boa adaptação em regiões com solos pobres e estação de seca prolongada; moderada resistência a geadas e a inundações periódicas; as árvores tendem a bifurcações e são, em geral, tortuosas; a madeira é, geralmente, pesada e densa, com cerne diferenciado e colorido; a regeneração, por meio de cepas, é considerada boa; e o ritmo de crescimento e o rendimento volumétrico são, na maioria das vezes, inferiores, quando comparados a outras espécies convencionais (Silva e Oliveira, 2003).

Essa espécie tem uma ampla variação da quantidade de óleo essencial, apresentando concentrações variáveis de sua espécie química principal: 1,8-cineol que, dependendo da localização geográfica, condições climáticas, idade da planta, tempo da colheita e de estocagem podem variar entre 80 e 90% (Doran, 1991).

2.1.3. 1,8-Cineol

O 1,8-cineol é um dos principais componentes ativos que ocorrem nos óleos de espécies de eucalipto, apresentando-se em misturas complexas com outros numerosos terpenos que compõe os óleos essenciais extraídos das folhas. O 1,8-cineol, representado na Figura 2.1, é um éter cíclico com fórmula empírica $C_{10}H_{18}O$, tratado cientificamente por

1,3,3-trimetil-2-oxabicyclo[2.2.2]octano, comercialmente como "eucaliptol" e popularmente como "cineol". Os átomos de carbono unidos ao oxigênio do éter são substituídos completamente e este fato, junto com a saturação química (nenhuma dupla ligação carbono-carbono) torna o 1,8-cineol estável e com baixa reatividade química. Essas propriedades incluem resistência à oxidação, à polimerização e decomposição térmica, em contraste com a maioria dos outros terpenos (Barton, 1999).

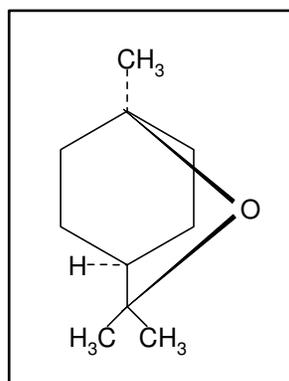


Figura 2.1: Estrutura molecular do 1,8-cineol.

Esse composto é um líquido incolor ou amarelo claro na faixa de temperatura de 0°C a 177°C, com uma pressão de vapor de 69 mmHg a 20°C e forte odor característico. Seu ponto de flash é razoavelmente alto, 48°C, e sua densidade é 0,927 g/ml à 20°C, ligeiramente menor que a da água. O átomo de oxigênio do éter cineol é moderadamente polar, tornando este completamente ou parcialmente miscível em uma extensa gama de líquidos, de hidrocarbonetos a orgânicos polares. O 1,8-cineol tem solubilidade limitada em água de 0,4% por massa à 20°C (Barton, 1999).

A carboxilação e a hidroxilação do cineol foram descritos por meio de vários processos, incluindo rotas enzimáticas, biológicas e metabólicas. Tem um odor que, a baixa concentração, é considerado agradável pela maioria das pessoas, sendo usado em aplicações de aromaterapia como também para desodorização. Estudos indicam o 1,8-cineol como futuro solvente industrial, com potencial para controlar insetos e ervas daninhas de forma ambientalmente correta, além de seu uso já existente em fármacos. Em particular, em muitas situações o 1,8-cineol pode substituir bem o 1,1,1-tricloroetano, previamente usado para desengraxar metais e outras operações de limpeza (Barton, 1999).

O 1,8-cineol e o óleo de eucalipto rico desse componente possuem índice terapêutico bastante alto, todavia ambos devem ser tratados com cautela como a maioria dos produtos medicinais. Além disso, o 1,8-cineol possui propriedades anti-sépticas, agindo contra alguns dos mais importantes patogênicos hospitalares: interage de modo extremamente interessante com a pele; é antifúngico e pode melhorar a função respiratória durante infecção ou alergia (Balacs, 1997).

Há vários motivos comerciais e ambientais para ampliar as aplicações do cineol e do óleo de eucalipto rico em cineol, como por exemplo:

- o desenvolvimento de novas aplicações (por exemplo, aplicação deste como solvente, na síntese do 3-metil-2-ciclohexanona, utilizado para combater um inseto - *Dendroctonus pseudotsugae* Hopkins -) aumentará o valor agregado ao composto;
- o amplo uso comercial do cineol criará maior renda de exportação para os produtores;
- o cineol é uma substância química ambientalmente correta que potencialmente substitui solventes degradadores de ozônio, assunto em discussão devido ao Protocolo de Kioto;
- a produção de óleo de eucalipto é uma fonte para combustíveis de biomassa, isto é, a folha processada é usada como combustível;
- as árvores de eucalipto isolam gás carbônico para combater o efeito estufa.

Além do cineol, o óleo essencial de folhas de espécies de eucalipto contém, em quantidades relativamente altas, diversos monoterpenos e em mais baixa porcentagem vários sesquiterpenos, monoterpenos oxigenados e outros (Pagula *et. al*, 2000).

Os monoterpenos e sesquiterpenos são terpenos de 10 a 15 átomos de carbonos derivados biossinteticamente de geranylpirofosfato (GPP) e farnesilpirofosfato (GPF), respectivamente. As Tabelas 2.3 e 2.4 mostram exemplos de monoterpenos e sesquiterpenos naturais, respectivamente. De acordo com sua estrutura eles se classificam segundo o número de ciclos como acíclicos, monocíclicos, bicíclicos etc.

Tabela 2.3: Monoterpenos.

Acíclicos	Monocíclicos	Bicíclicos
mirreno	cineol	α -pipeno
geraniol	α -elandreno	β -pipeno
geranial	α -terpineol	Canfeno
neral	piperitol	Borneol
linalol	d-limoneno	Sabineno
citronelal	p-cimeno	3-careno
citronelol	α -terpineno	trans-pinocarveol
-	β -terpineno	-

Tabela 2.4: Sesquiterpenos.

Acíclicos	Monocíclicos	Bicíclicos	Tricíclicos
nerolidol	humuleno	β -cariofileno	Aromandreno
farnesol	-	α -eudesmol	Globulol
-	-	β -eudesmol	Espatuleno
-	-	γ -eudesmol	-
-	-	biciclogermacreno	-

2.1.4. Extração do óleo essencial

A primeira destilação de óleo essencial de eucalipto foi realizada na Austrália pelo cirurgião inglês John White, no fim do século XVIII, para substituição do óleo de menta indicado como sedativo. White designou como *pappermint-tree* a planta produtora de óleo, naquela data, ainda, botanicamente desconhecida. O químico Besiste, de Melbourne, aperfeiçoou os métodos de destilação, desenvolvendo a sua aplicação na indústria e divulgando diversos usos químicos e farmacêuticos dos óleos essenciais do gênero *Eucalyptus* (Silva e Oliveira, 2003).

Os óleos essenciais de origem vegetal podem ser obtidos por diferentes métodos, dentre os quais destaca-se a destilação, com seus diversos tipos, em função do modo de contato da água com a matéria prima: com vapor, “seco” ou “vivo” e úmido; com água; coação; com vapor d’água (Braga, 2002).

O princípio básico do processo de separação utilizado para a obtenção de óleos essenciais, comumente encontrado na literatura específica, considera que o vapor d'água penetra nos tecidos das plantas e promove o arraste dos óleos essenciais por difusão através dos tecidos e a vaporização de todas as substâncias voláteis (Braga, 2002).

Os métodos mais utilizados é a destilação por água ou por vaporização, ambos oferecem resultados satisfatórios, envolvendo considerável número de plantas. A operação é considerada simples e consiste em utilizar um destilador, lançando-se nele uma mistura do material e uma porção de água, elevando-se a temperatura desta até atingir a ebulição. O vapor resultante é conduzido para um condensador onde é arrefecido e convertido na sua forma líquida, contendo água e pequena quantidade de óleo essencial. Em função de densidades diferentes, formam-se duas camadas – óleo e água – bem distintas e separáveis (Silva e Oliveira, 2003). Se a água retorna ao sistema, em vez de ser desperdiçada, tem-se a coação. Esse procedimento é particularmente interessante quando são gerados grandes volumes de água destilada, os quais podem ainda conter quantidades apreciáveis de alguns componentes de óleos essenciais já que, em muitos casos, essas substâncias são parcialmente hidrossolúveis (Costa, 1999). Dessa forma, minimizam-se as perdas e mantém-se o volume de água constante (Braga, 2002).

2.1.5. Caracterização dos óleos essenciais

Uma aproximação padrão utilizada para separar e identificar os componentes dos óleos essenciais e então discutir as semelhanças ou diferenças entre espécies por uma inspeção geral destes resultados é a cromatografia gasosa e a espectrometria de massa (Dunlop *et. al*, 1995).

Entre os métodos modernos de análise, a cromatografia ocupa lugar de destaque devido a sua facilidade para efetuar a separação, identificação e quantificação das espécies químicas, por si mesma ou em conjunto com outras técnicas instrumentais de análise, como por exemplo, a espectrofotometria ou a espectrofotometria de massa (Collins *et. al*, 1997). O desenvolvimento da cromatografia de gás de alta resolução permitiu que os compostos

voláteis de misturas complexas pudessem ser separados rapidamente e com precisão (Costa, 1999).

Devido ao desenvolvimento de colunas capilares de alta resolução pode-se analisar misturas complexas presentes em óleos essenciais, e identificar os componentes a partir dos tempos de retenção através dos denominados índices de retenção de Kovátz (IK). Esses valores são característicos para cada componente e existem bases de dados com os índices de muitos componentes de óleos essenciais. Os IK são determinados tanto em colunas cromatográficas polares (por exemplo, Carbovax 20M) quanto em apolares (por exemplo, SE-52, DB-5) (Collins *et. al*, 1997).

Adicionalmente, a técnica acoplada cromatografia gasosa-espectrometria de massa (CG-MS) permite obter os espectros de massa de cada componente com o qual se obtém a massa molecular e a informação estrutural. Existem bases de dados com os espectros de massa de muitos componentes, nos quais o índice de Kovátz (determinado em colunas de diferentes polaridades) e o espectro de massa são critérios para a atribuição química de muitos componentes de óleos essenciais, não só monoterpenos, mas também outros tipos de substâncias características destes óleos (Collins *et. al*, 1997).

O valor agregado ao óleo essencial está diretamente ligado à sua qualidade, tornando quase obrigatório avaliar as suas características com análises físico-químicas.

Na prática comercial de óleo essencial não é raro se deparar com produtos adulterados, sendo usual para as fraudes a adoção dos seguintes procedimentos: adição de compostos sintéticos, de baixo preço, tais como álcool benzílico, ésteres do ácido ftálico e até hidrocarbonetos clorados; mistura do óleo essencial de qualidade com outros óleos de menor valor para aumentar o rendimento; adição das substâncias sintéticas que imitam os compostos principais do óleo em questão; e, falsificação completa do óleo por meio de misturas de substâncias sintéticas dissolvidas num veículo inerte (Simões e Sptizer, 1999).

A adulteração do óleo essencial de eucalipto, principalmente de *E. citriodora*, é relatada com certa frequência no Brasil, tendo sido constatadas a adição de óleos fixos de menor valor comercial (óleo de soja) e de etanol. Para óleos essenciais obtidos do *E. globulus* e *E. staigeriana* não se tem observado os problemas de adulteração, em função da

existência de poucos produtores desses óleos, os quais não têm interesse em desestabilizar sua reputação perante o mercado. O nível de adulteração dos óleos pode ser facilmente constatado através de análise química. As principais análises recomendadas para os óleos essenciais de eucalipto são: densidade, rotação óptica, índice de refração, solubilidade em álcool etílico e teor do componente químico principal (Vitti e Brito, 2003).

As especificações recomendadas pela *International Standard Organization* (ISO) para óleos ricos em cineol são apresentadas na Tabela 2.5.

Tabela 2.5: Especificações para os óleos ricos em cineol.

Análises	ISO 770-1980	ISO 3065-1974
Densidade relativa (20° C)	0,906 – 0,925	0,918 – 0,928
Índice de refração (20° C)	1,4590 – 1,4670	1,4580 – 1,4650
Rotação óptica (20° C)	0 a +10	-2 a +2
Solubilidade em etano 80 % v/v (20° C)	1 vol em 5 vols	1 vol em 3 vols
Total de aldeído (citronelal)	mínimo de 70 %	Entre 80 - 85 %

Fonte: Waren, 1991, citado por Vitti e Brito, 2003.

2.2. Secagem

A secagem é definida como uma operação adotada para eliminar água ou outro líquido que cobre a superfície e/ou está inserido no interior de um material, por evaporação, com transferência simultânea de calor e massa (Nonhebel e Moss, 1971; Keey, 1978; Strumillo e Kudra, 1986).

Quando um material é seco, dois processos fundamentais e simultâneos ocorrem: transferência de calor para evaporar o líquido e transferência de massa da umidade interna e do líquido evaporado. Os fatores que regem a intensidade de cada um desses processos são os que determinam a velocidade do processo de secagem. Sherwood (1929) descreve os mecanismos gerais da secagem como:

- Evaporação do líquido na superfície do material; pequena resistência à difusão interna de líquido comparada à resistência para remover o vapor da superfície.
- Evaporação na superfície do material; grande resistência à difusão interna de líquido comparada à resistência para remover o vapor da superfície.

- Evaporação no interior do material; grande resistência à difusão interna de líquido comparada à resistência total para remover o vapor.

Nas operações industriais de secagem o fornecimento de calor pode ser por convecção ou condução ou radiação ou por combinação desses mecanismos. Entretanto, independente do mecanismo, o calor é fornecido, primeiro, para a superfície externa do material e, em seguida, para o seu interior. A única exceção é o processo de secagem por microondas, em que o calor é gerado no interior do material e, conseqüentemente, acarreta temperatura mais elevada no interior até a sua superfície (Costa, 1999). O método de secagem influencia a quantidade dos constituintes voláteis contidos no óleo essencial.

A transferência de massa na secagem se dá com a umidade na forma líquida ou vapor, ou nos dois estados dentro do material, e como vapor a partir da superfície úmida para o ambiente. Os gradientes de concentração de umidade dependem do mecanismo de migração (transferência de massa) do fluido dentro do material (Keey, 1978; Perry e Chilton, 1963).

2.2.1. Cinética de secagem

Os fatores que governam a velocidade dos fenômenos de transferência determinam a taxa de secagem, tais como pressão de vapor d'água no material e no ar de secagem, temperatura e velocidade do ar, velocidade de difusão da água no material, espessura e superfície exposta à secagem (Nonhebel e Moss, 1971; Strumillo e Kudra, 1986). Para se verificar a influência das condições externas do processo de secagem deve-se então recorrer à experiência (ensaios experimentais), com o material na forma apropriada e para determinadas condições de processo e obter dados relacionados aos teores de umidade do material e ao tempo de secagem (Costa, 1999). A partir dos dados obtidos nos ensaios experimentais, podem ser construídas curvas de secagem que são representações gráficas do teor de umidade em função do tempo e curvas de taxa de secagem.

Com os valores obtidos da perda de massa do material úmido com o tempo, durante o processo em condições constantes, pode-se estimar os teores de umidade em base seca e a taxa de secagem em base seca pelas Equações 2.1 e 2.2, respectivamente.

$$X_{bs} (\%) = \left(\frac{m - m_{fs}}{m_{fs}} \right) \cdot 100 \quad (2.1)$$

$$W = -m_{fs} \frac{dX}{dt} \quad (2.2)$$

em que “m” representa a média da massa de material durante o processo de secagem, “m_{fs}” a massa de folhas secas, “X_{bs} (%)” o teor de umidade em base seca e “W” a taxa de secagem.

Fazendo-se a representação gráfica dos valores experimentais de X_{bs} (%) em função do tempo, obtém-se uma curva típica, conforme Figura 2.2, que representa o caso geral quando um material inicialmente perde umidade por evaporação de superfícies saturadas e, após isso, por evaporação da umidade no seu interior que pode ocorrer por um ou mais mecanismos citados anteriormente.

Com a derivação numérica dos dados da curva de secagem (Figura 2.2) obtém-se as Figuras 2.3 e 2.4, que indicam a variação da “taxa” ou “velocidade de secagem” em função do teor de umidade e tempo de secagem, respectivamente.

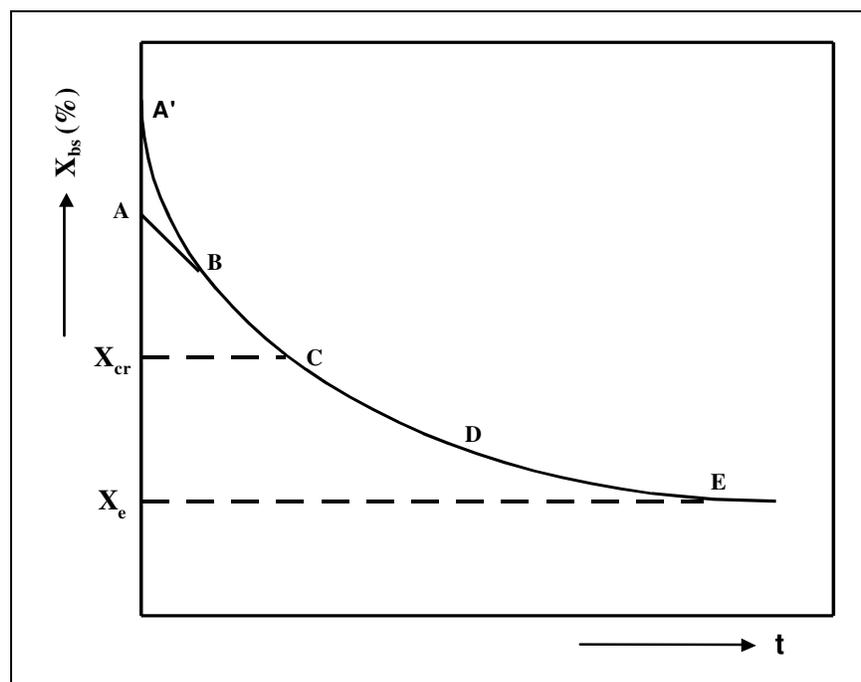


Figura 2.2: Curva de secagem típica (Perry e Chilton, 1973).

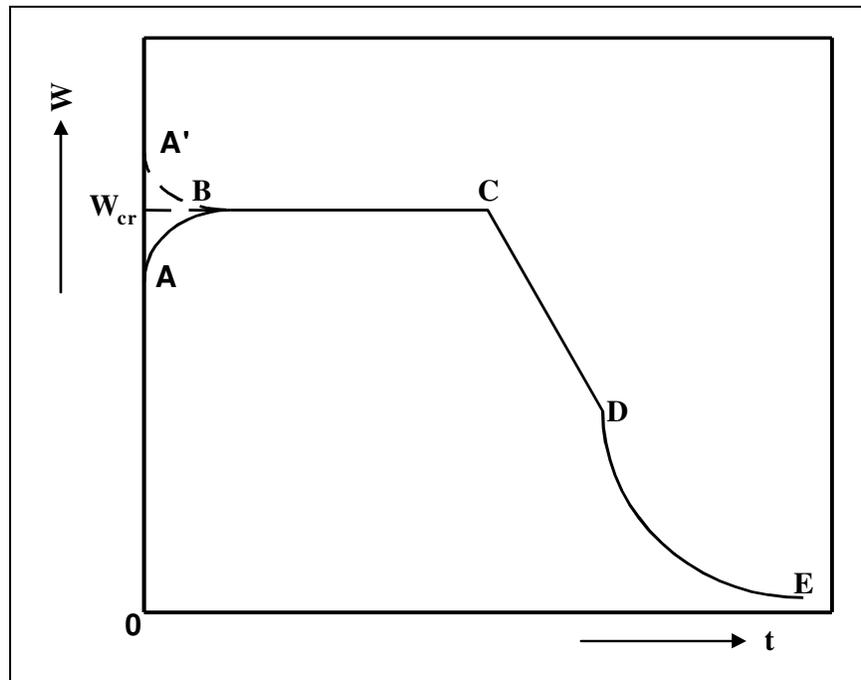


Figura 2.3: Curva da taxa de secagem em função do tempo (Perry e Chilton, 1973).

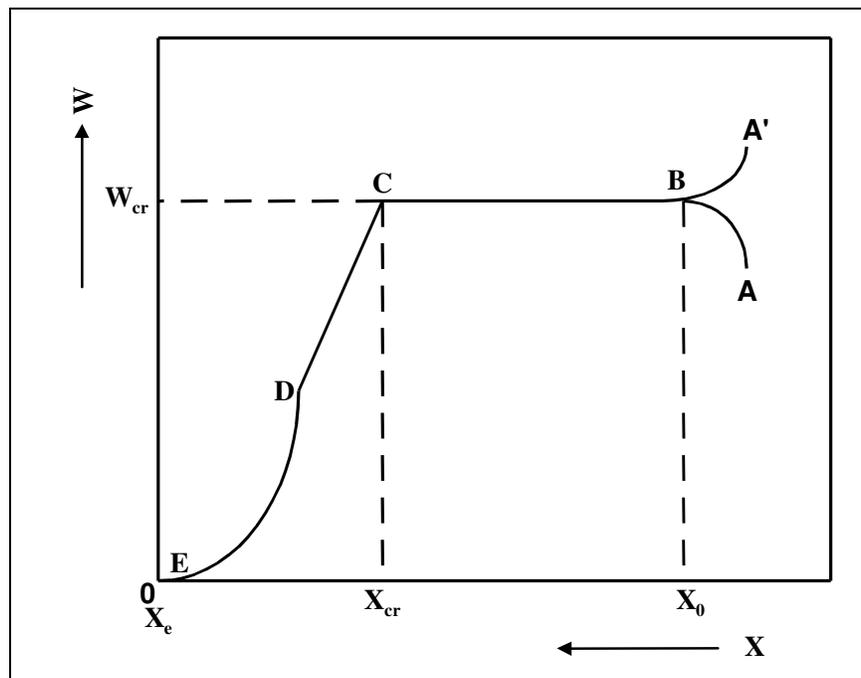


Figura 2.4: Curva da taxa de secagem (Perry e Chilton, 1973).

As curvas de secagem e taxa de secagem (Figuras 2.2, 2.3 e 2.4) indicam que o processo não se comporta de modo uniforme e contínuo, com um único mecanismo controlando todas as suas fases. Nessas curvas, os segmentos AB e A'B são os termos representativos do período de indução do material, onde pode ocorrer o aquecimento ou resfriamento, no caso do material estar inicialmente com temperatura menor ou maior que a temperatura do bulbo úmido do ar de entrada no secador, respectivamente. Os segmentos BC, CD e DE representam, respectivamente os períodos de velocidade constante, e o primeiro e segundo períodos de velocidade decrescente. O ponto C, onde o período da velocidade constante termina e a velocidade de secagem começa a diminuir, é correspondente ao teor de umidade crítica do material (X_{cr}). Quando toda a superfície exposta do material se encontra inteiramente insaturada de líquido, indicada pelo ponto D, tem início a última etapa do ciclo do processo de secagem, onde o movimento interno da umidade é o mecanismo predominante. No ponto E, a taxa de secagem é praticamente nula e o material atinge sua umidade de equilíbrio (X_e), que é o menor teor de umidade que o material pode alcançar, nas condições operacionais a que está sendo submetido.

2.2.2. Secagem de folhas medicinais, aromáticas e condimentares

O órgão de uma espécie vegetal seja folha, flor, raiz, casca, quando recém colhido se apresenta com elevado teor de umidade e substratos, concorrendo para o aumento da ação enzimática, que compreende diversas reações. Essas reações são reduzidas à medida que se retira água do material, pois a redução de umidade do meio é o melhor inibidor da ação enzimática. Daí a necessidade da secagem.

A secagem é um processo crucial à preparação adequada dos produtos naturais, que objetiva diminuir consideravelmente o teor de umidade destes. O teor de umidade residual acima de 10% base úmida favorece o desenvolvimento de fungos e bactérias, bem como possibilita a atividade hidrolítica de diversas enzimas presentes nas células vegetais, levando à degradação dos princípios ativos (Simões, 1999, citado por Corrêa *et. al*, 2004).

Assim, o processo de secagem permite a conservação dos produtos naturais, mantendo sua qualidade física e química por um período maior de tempo. No caso de

plantas produtoras de óleo essencial, a secagem deve ser criteriosa em razão da volatilidade dos óleos essenciais. Por isso, a definição de metodologias de secagem mais apropriadas para cada espécie é necessária, visando assegurar os teores de substâncias ativas (Corrêa *et al.*, 2004).

O efeito de secagem na composição de aromas voláteis tem sido objeto de vários estudos, os quais demonstram que as mudanças na concentração de compostos voláteis durante a secagem dependem de diversos fatores, entre eles o método de secagem (Venskutonis, 1997, citado por Jesuz *et al.*, 2001).

No entanto, a secagem natural é um processo lento, que deve ser conduzido à sombra, em local ventilado, protegido de poeira e do ataque de insetos e outros animais, o que aumenta a relação custo/produção.

Koller e Raghavan (1995) estudaram o efeito da secagem por convecção a 50°C, “freeze-drying” e secagem natural de *Thymus vulgaris* L., e concluíram que os dois primeiros métodos não afetaram a composição do óleo essencial, enquanto que no último método verificou-se perda significativa de seu constituinte principal, timol.

Braga *et al.* (2002), investigando o efeito do tempo de secagem na composição do óleo essencial de *Eucalyptus citriodora* durante a secagem em leito fixo, verificaram que o tempo de secagem maior que 30 minutos propicia uma elevação no rendimento do óleo essencial, mas sem alterações do teor de citronelal, componente principal do óleo essencial. Observaram também que este parâmetro aumenta em virtude da crescente remoção da água contida nas folhas, possibilitando o processamento de uma maior quantidade de folhas, utilizando o mesmo extrator usado para a extração de óleo essencial das folhas frescas.

Braga *et al.* (2004) também estudaram a secagem das folhas de *Eucalyptus staigeriana* por meio do acompanhamento da umidade do ar de descarga do secador de leito fixo e concluíram que com o aumento da temperatura do ar de secagem e, conseqüentemente, do aumento da remoção de umidade houve um aumento de aproximadamente duas vezes no rendimento de óleo essencial.

Radünz *et al.* (2002-a) avaliaram a influência da temperatura do ar de secagem (ambiente, 40, 50, 60 e 70°C) no rendimento extrativo de óleo essencial em alecrim-

pimenta (*Lippia sidoides* Cham.), utilizando um secador em leito fixo, e concluíram que o processo de secagem pode ser otimizado com o aumento da temperatura do ar de secagem, sem que isto implique em prejuízo quantitativo no teor de óleo essencial.

Radünz *et al.* (2002-b) também estudaram a influência da temperatura de secagem sobre a composição química do óleo essencial de alecrim-pimenta e observaram que as temperaturas do ar de secagem de 40, 50, 60 e 70 °C não afetaram os rendimentos de p-cimeno e timol desse óleo essencial em relação ao material fresco; entretanto, o rendimento extrativo de cariofileno aumentou com o incremento na temperatura do ar de secagem.

Corrêa *et al.* (2004) submeteram folhas de assa-peixe (*Vernonia polyantes*) a diferentes métodos de secagem e puderam concluir que as secagens à sombra, em secador solar e mista (sol e sombra) proporcionam maiores teores de óleo essencial, em comparação com a secagem em estufa. Segundo os autores, a secagem em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 35°C aumentou a liberação de compostos voláteis, diminuindo, conseqüentemente, o rendimento em óleo essencial.

Capítulo 3 - MATERIAIS E MÉTODOS

O objetivo deste trabalho foi o de estudar o efeito da temperatura do ar de secagem no rendimento de óleo essencial e no teor de 1,8-cineol presente neste óleo, no processo de secagem de folhas de *Eucalyptus camaldulensis*. Para tanto, os experimentos de secagem e de extração de óleo essencial foram conduzidos no Laboratório de Processos em Meios Porosos (LPMP) da Faculdade de Engenharia Química (FEQ) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), enquanto as análises de cromatografia gasosa dos óleos essenciais extraídos foram realizadas no Laboratório de Ciências Florestais da ESALQ/USP, em Piracicaba.

3.1. Matéria-prima

O material utilizado no trabalho foram folhas de *E. camaldulensis*, ilustradas na Figura 3.1, colhidas aleatoriamente de exemplares localizados na Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga. As dimensões da folha são valores médios obtidos de uma amostra de 200 folhas.

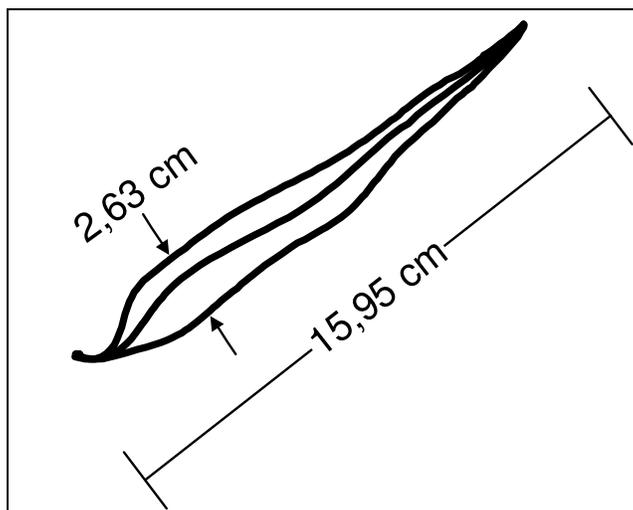


Figura 3.1: Folhas de *Eucalyptus camaldulensis*.

3.2. Equipamentos

3.2.1. Balança semi-analítica

A massa de folhas de *Eucalyptus camaldulensis* de cada amostra estudada, bem como as amostras de óleo essencial extraído tanto das folhas úmidas quanto das secas, foram pesadas em balança semi-analítica eletrônica, marca BG400 Gehaka, com precisão de 0,001g.

3.2.2. Câmara para acondicionamento das folhas

As folhas úmidas eram cuidadosamente colocadas na vertical dentro do cesto, representado na figura 3.2. A parede do cesto e o fundo são feitos de uma grade quadriculada com uma abertura de 0,2 cm.

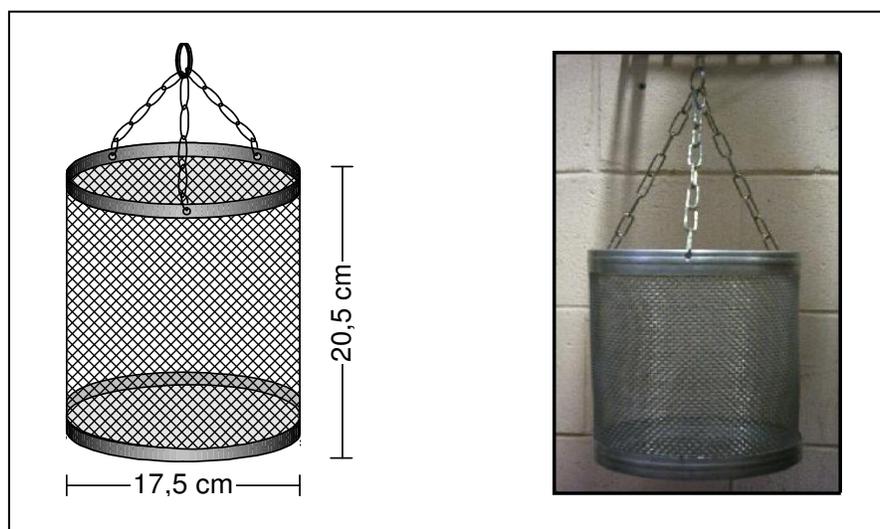


Figura 3.2: Cesto utilizado para dispor as folhas no secador.

3.2.3. Secador

Um secador tipo leito fixo, isolado por lã de rocha e alumínio corrugado, foi utilizado para a secagem das folhas. As dimensões do secador são detalhadas na figura 3.3.

Na entrada e na saída deste encontravam-se um conjunto de termopar e psicrômetro para registrar a temperatura e a umidade do ar de secagem, respectivamente. O psicrômetro utilizado foi um transmissor de umidade, modelo TU100 da Incon Ltda., com sensores capacitivos para faixa de trabalho de 0 a 100 %, com precisão de 2 %. Os sensores de temperatura foram fabricados pela Incon Ltda., modelo PT100, com 3 fios (tipos J, K e T), haste de 10 mm, com cabeçote, rosca 114 NPT.

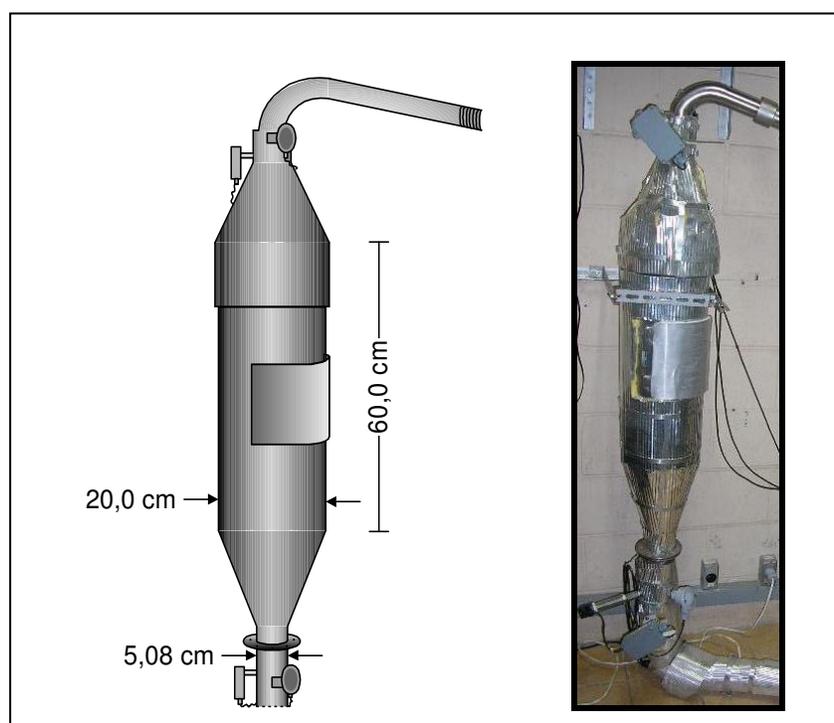


Figura 3.3: Secador de leito fixo utilizado para secar as folhas.

3.2.4. Sistema para secagem das folhas

O equipamento era composto por um soprador centrífugo. Uma válvula regulava o fluxo de ar que era medido através de um tubo de Pitot, onde se media o desnível manométrico em um painel com tubo em U contendo o fluido manométrico (água).

Quatro resistências, de 400 W cada, eram responsáveis pelo aquecimento do agente de secagem.

A perda de massa durante a secagem, devido a remoção de água, foi acompanhada por meio de uma balança da marca Gehaka, de precisão 0,01g, colocada acima do secador e acoplada ao cesto que continha as folhas a serem secas e estava disposto dentro da câmara de secagem.

Para o controle da temperatura e da umidade do ar de secagem, ao decorrer de cada experimento, interligou-se à unidade o sistema de aquisição de dados Aquisitor de Dados UnicSup.

O sistema de secagem utilizado neste trabalho está representado pela Figura 3.4.

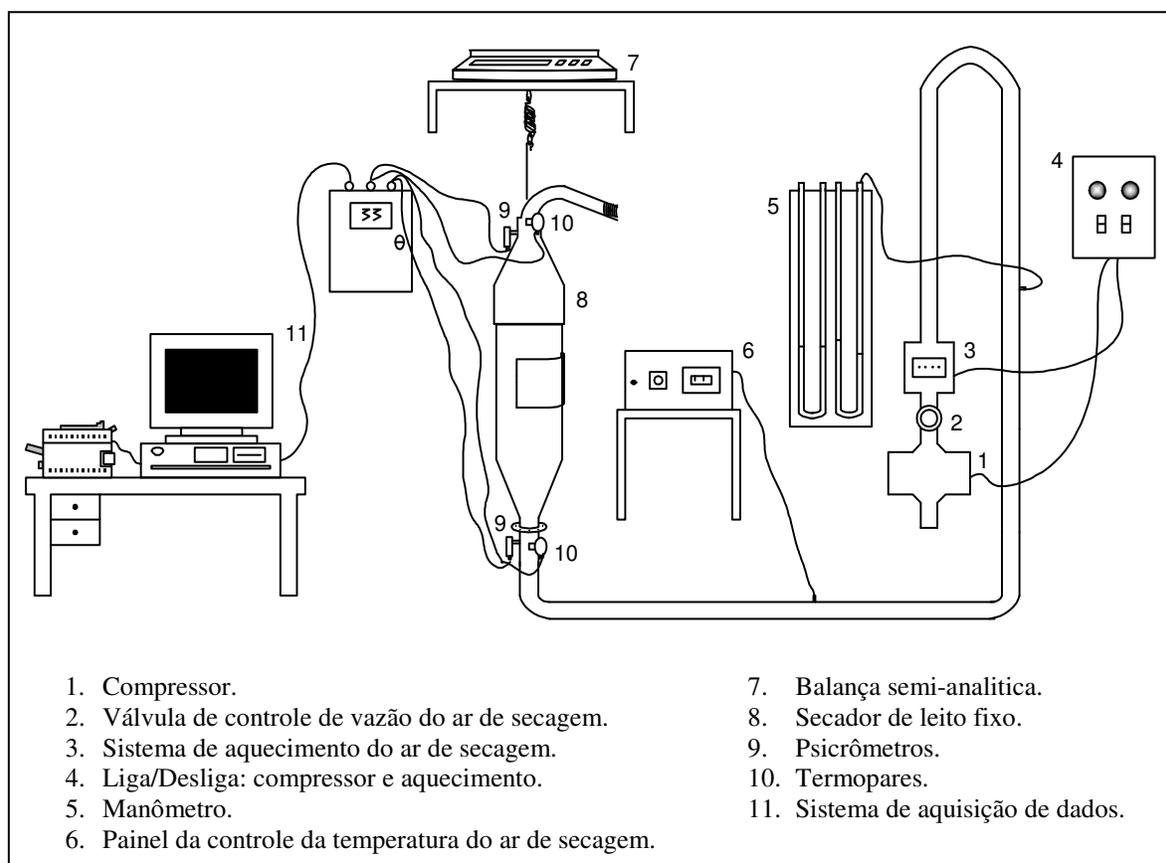


Figura 3.4: Sistema de secagem.

3.2.5. Destilador

A extração do óleo essencial foi feita por coação em um destilador do tipo Clevenger MA553 com capacidade de 250 ml com potência de 2 kW, do fabricante

MARCONI. O banho ultratermostático microprocessado com circulador, modelo 214M2, da Quimis, foi utilizado para resfriar a água, a temperatura de 5 °C, necessária à condensação. Este sistema de extração de óleo essencial é representado na Figura 3.5.

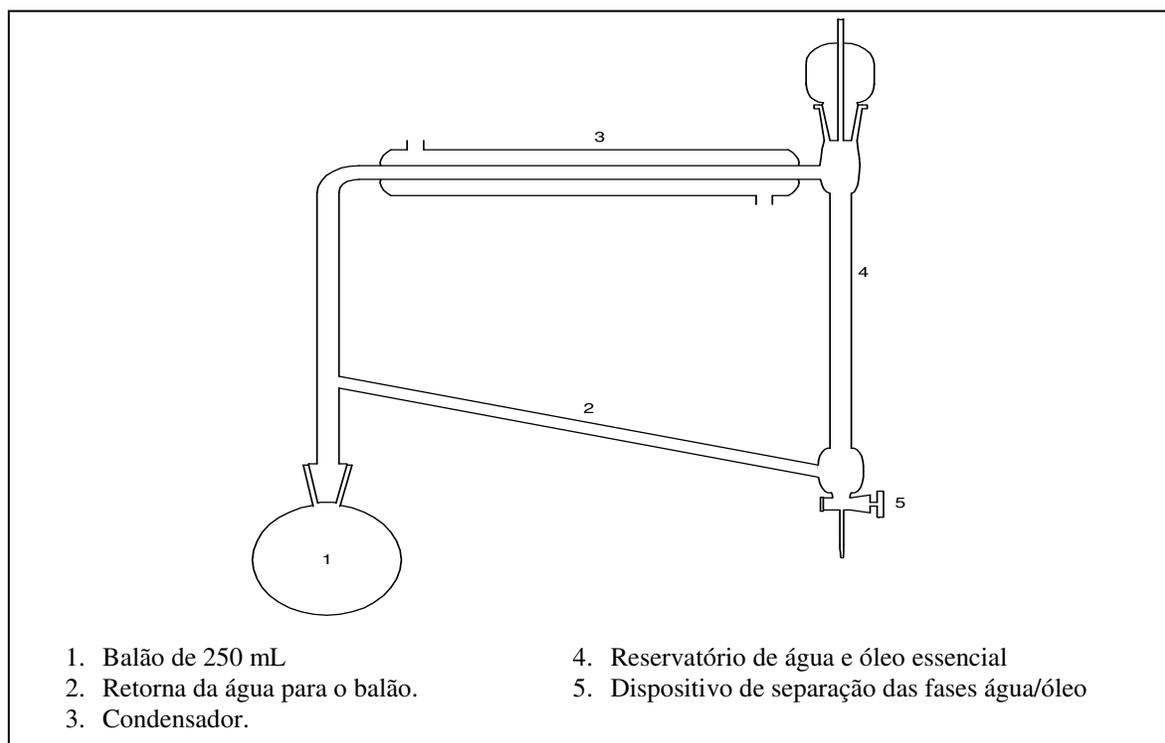


Figura 3.5: Destilador tipo Clevenger

3.2.6. Cromatógrafo Gasoso

A análise cromatográfica foi realizada no cromatógrafo gasoso HP5890 II, em coluna capilar HP-20M (Carbovax 20M) com 50 metros de comprimento. Ao final da análise, o cromatograma foi impresso em impressora HP.

3.2.7. Estufa

A determinação da umidade inicial das folhas de *Eucalyptus camaldulensis* foi realizada na Estufa de Secagem e Esterilização, modelo 315 SE, da FANEM.

3.2.8. Termopar de contato

A temperatura das folhas de *Eucalyptus camaldulensis*, antes e depois de serem submetidas ao processo de secagem, foram medidas com um termopar de contato do tipo K, com faixa de medição entre -70,0 e 1200°C, modelo IOPtherm 46, da IOPE – Instrumentos de Precisão Ltda.

3.3. Procedimento Experimental

3.3.1. Procedimento de secagem das folhas

A princípio, com base no estudo de Braga e Cremasco (2002), os seguintes parâmetros foram fixados: velocidade de 0,60 m/s, controlada pelo tubo de Pitot, massa de folha de *Eucalyptus camaldulensis* de 100 g e tempo de secagem de 60 minutos, uma vez que os autores verificaram que a carga de material e a vazão de ar de secagem não têm influência significativa no processo de secagem de folhas de *Eucalyptus citriodora*. Como o objetivo do presente trabalho é o estudo da influência da temperatura do ar de secagem, então para cada experimento, utilizou-se uma temperatura no intervalo de 35 a 70°C, variando esta de 5 em 5 °C.

Depois de estabilizada a temperatura do agente de secagem (regime permanente do leito), em média 2 horas, uma massa de folhas frescas de eucalipto, previamente fixada em 100g, foi depositada no cesto de forma organizada, na vertical, para permitir que o fluxo de ar passasse paralelamente ao material, diminuindo desta maneira a perda de carga no leito.

Mediu-se então a temperatura inicial das folhas de *Eucalyptus camaldulensis* com o termopar de contato e, em seguida, o cesto foi inserido no secador e iniciou-se, no mesmo instante, a leitura da perda de massa, que foi feita de 1 em 1 minuto nos dez primeiros minutos e depois de 10 em 10, até atingir um período igual a 60 minutos. Paralelamente, o programa de aquisição de dados (temperaturas e umidades na entrada e saída do secador) foi iniciado.

Ao final do tempo pré-fixado, a corrente do ar de secagem foi cessada, as folhas secas foram retiradas do secador e mediu-se, novamente, a temperatura destas com o termopar de contato. Estas eram armazenadas, por no máximo 24 horas, em bolsas plásticas com fechos herméticos, atentando para a retirada máxima do ar presente no interior desta, para futura extração de óleo essencial.

3.3.2. Procedimento de extração do óleo essencial

A extração do óleo essencial foi feita por coação.

Primeiramente, pesou-se uma massa de 30g de folhas que foram inseridas cuidadosamente em um balão volumétrico de 250mL, juntamente com 150mL de água destilada.

Em seguida, o balão foi levado ao destilador no qual permaneceu durante 2 horas, contadas a partir da obtenção da primeira gota de condensado. Esse período foi determinado após testes preliminares que indicaram que a quantidade de óleo extraído não sofria grandes alterações com o aumento deste tempo.

Depois da extração, o óleo essencial encontrava-se misturado com água. No entanto, devido a menor densidade do óleo, a mistura apresentava duas fases e, por isso, com o auxílio de uma seringa de vidro foi possível succionar toda a água residual presente.

O óleo extraído foi inserido em frascos de polietileno e, em seguida, armazenado em um refrigerador com temperatura aproximada de 5°C, para posterior análise cromatográfica.

3.3.3. Procedimento de análise do teor de 1,8-cineol no óleo essencial

O teor do 1,8-cineol foi determinado em um cromatógrafo gasoso conforme citado anteriormente. O aquecimento foi de 6 °C/minuto, iniciando em 75°C e finalizando a 210°C. O gás de arraste, hélio, foi injetado num fluxo de 1ml/minuto. O volume de óleo utilizado para análise foi de 0,5 microlitros.

3.3.4. Procedimento para determinação da umidade inicial das folhas

Para a determinação da umidade inicial das folhas frescas, foram pesadas 20 g das mesmas, as quais foram mantidas por 24 horas à temperatura de 105°C na estufa de secagem e esterilização.

Capítulo 4 – ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os seguintes parâmetros do ar de secagem foram fixados no presente trabalho: velocidade do ar de secagem de 0,60 m/s e carga de folhas úmidas de 100g. Escolheu-se fixar tais parâmetros operacionais considerando-se os trabalhos de Braga e Cremasco (2002), Braga *et al.* (2002; 2004 e 2005), pois o parâmetro que exerce maior influência na cinética de secagem das folhas de *Eucalyptus citriodora*, bem como na composição de óleos essenciais destas é a temperatura do ar de secagem.

Tendo em vista o objetivo da presente Dissertação ser o estudo da influência da temperatura do ar de secagem, para cada experimento foram utilizadas temperaturas no intervalo de 35 a 70 °C, variando esta de 5 em 5 °C. Para cada temperatura, realizaram-se dois experimentos para assegurar a confiabilidade dos dados, totalizando 16 ensaios experimentais e os resultados obtidos se encontram no Apêndice A. Intentou-se obter resultados experimentais para as curvas da cinética de secagem, sendo esta expressa em kg de H₂O/kg de material seco, em função do tempo de operação. Para todos os cálculos realizados e tabelas construídas, foi utilizada a média dos dois valores encontrados para cada temperatura analisada.

Além da cinética de secagem, foram construídas curvas, que representam o efeito da temperatura do ar de secagem no rendimento do óleo essencial das folhas de *E. camaldulensis*, tanto em base úmida (Equação 4.1) quanto em base seca (Equação 4.2) e, a partir do critério proposto pela Equação 4.3, procurou-se verificar se o rendimento adimensional.

$$Rd_{bu} (\%) = \frac{\text{massa de óleo extraído}}{\text{massa de folhas submetidas à secagem}} \cdot 100 \quad (4.1)$$

$$Rd_{bs} (\%) = \frac{\text{massa de óleo extraído}}{\text{massa de folhas isentas de umidade}} \cdot 100 \quad (4.2)$$

$$Rd_{ad} (\%) = \frac{Rd_{fs} (\%bu)}{Rd_{ff} (\%bu)} \cdot 100 \quad (4.3)$$

Foi construída, também, uma curva na qual se pretende ilustrar o efeito que a temperatura do ar de secagem exerce no teor de cineol, contido no óleo essencial, advindo

tanto de folhas frescas quanto daqueles submetidas à secagem. Para que fosse possível avaliar o efeito apenas da secagem, fez-se uso da proposta de Braga e Cremasco (2002), na qual há a adimensionalização do teor do cineol mediante a Equação 4.4.

$$\text{Cineol}_{\text{rel}} = \frac{\% \text{Cineol}_{\text{fs}}}{\% \text{Cineol}_{\text{ff}}} \quad (4.4)$$

Para apresentar o comportamento da temperatura final das folhas com relação à temperatura do ar de secagem, construiu-se uma curva, na qual foram utilizados valores adimensionalizados da temperatura final das folhas e da temperatura do ar de saída do secador ao final do processo de secagem, segundo as Equações 4.5 e 4.6, respectivamente.

$$T_{\text{ad folha}} = \frac{T_{\text{fs fim secagem}}}{T_{\text{ff}}} \quad (4.5)$$

$$T_{\text{ad ar}} = \frac{T_{\text{ar saída do secador}}}{T_{\text{ff}}} \quad (4.6)$$

4.1. Influência da temperatura na cinética de secagem

Estudou-se a cinética de secagem de folhas de *Eucalyptus camaldulensis*, em secador de leito fixo, analisando-se a influência da temperatura do ar de secagem. As curvas da cinética de secagem estão apresentadas na forma adimensional do conteúdo de umidade, X_{ad} , calculada conforme as Equações 4.7 a 4.10, em função do tempo.

$$m_{f0} - m_{fi} = m_{\text{H}_2\text{O}0} - m_{\text{H}_2\text{O}i} \quad (4.7)$$

$$U_i = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}i}}{m_{fi}} \quad (4.8)$$

$$X_i = \frac{U_i}{1 - U_i} \quad (4.9)$$

$$X_{\text{ad}i} = \frac{X_i}{X_0} \quad (4.10)$$

Como, por exemplo, para a secagem a 50 °C, no tempo de 30 minutos (vide Tabela A6 no apêndice A):

1. Rearranjando a Equação 4.6:

$$m_{\text{H}_2\text{O}_0} = U_0 \cdot m_{f0} = 0,64816 \cdot 100,895 = 65,396 \text{ g} .$$

2. Da Equação 4.5:

$$100,895 - m_{fi} = 65,396 - m_{\text{H}_2\text{O}i}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}i} = m_{fi} - 35,499 \text{ g} .$$

3. Da Equação 4.6:

$$U_i = 1 - \frac{35,499}{m_{fi}}$$

para $t = 30 \text{ min}$:

$$U_{30\text{min}} = \left(1 - \frac{35,499}{49,585} \right) \cdot 100 = 28,408 \% .$$

4. Da Equação 4.7:

$$X_{30\text{min}} = \frac{0,28408}{1 - 0,28408} = 0,397 .$$

5. Da Equação 4.8:

$$X_{\text{ad } 30\text{min}} = \frac{0,397}{1,842} = 0,154 .$$

Os resultados obtidos para todas as temperaturas do ar de secagem encontram-se disposto no Apêndice A.

A representação gráfica apresentada pela Figura 4.1 foi construída e nesta o tempo de secagem encontra-se no eixo das abscissas e a umidade adimensional, em base seca, (Equação 4.10) está representado no eixo das ordenadas.

Relacionando as Figuras 4.1 com a Figura 2.2, é possível observar claramente todas as fases da secagem. Para a temperatura de 35° C tem-se praticamente o período de indução do material, onde ocorre apenas o aquecimento das folhas. A 40° C encontra-se o período de indução e o período a velocidade constante. Na temperatura seguinte, 45° C, ocorre a adesão de mais uma fase, o primeiro período de velocidade decrescente.

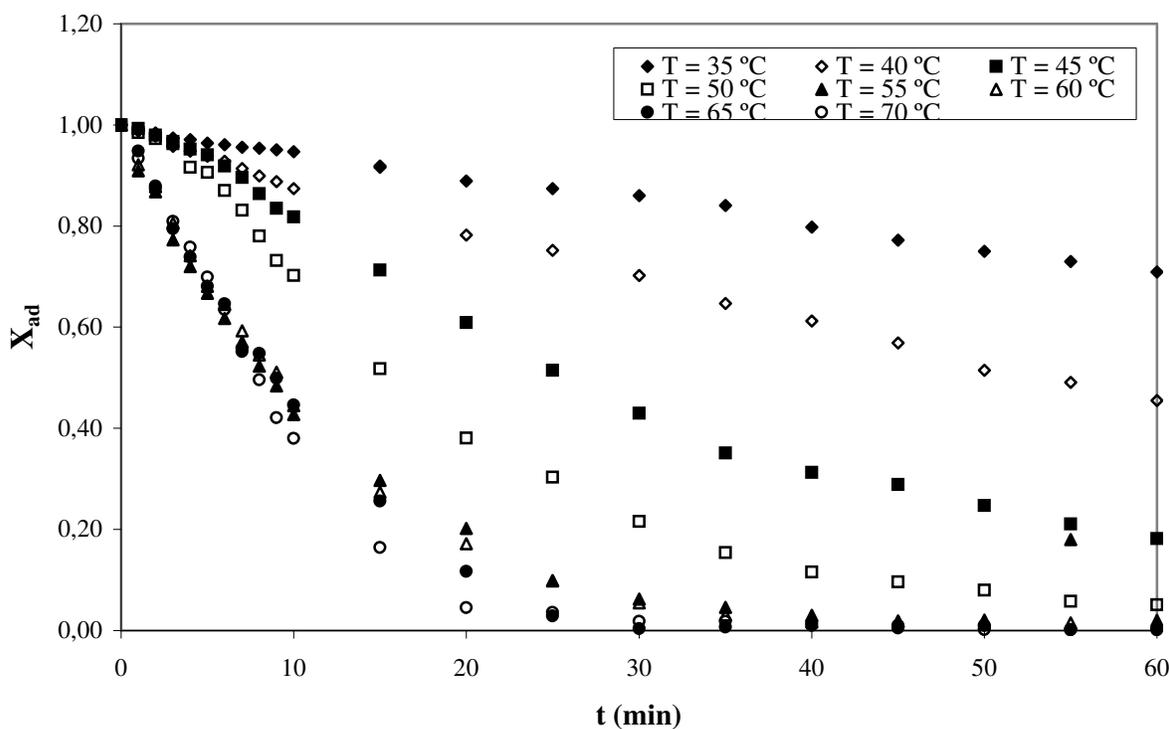


Figura 4.1: Cinética de secagem das folhas de *E. camaldulensis* em diferentes temperaturas do ar de secagem ao decorrer de 60 minutos.

Analisando a curva de secagem (Figuras 4.1), observou-se que a cinética foi fortemente influenciada pela temperatura do ar de secagem e que a utilização de temperaturas mais elevadas reduz significativamente o tempo necessário para secar as folhas de *Eucalyptus camaldulensis*, ou seja, para um mesmo tempo de processo, quanto maior for a temperatura do ar, maior é a taxa de secagem, até a temperatura de 50°C. Nota-se que a perda do conteúdo de umidade é bem rápida no início do processo de secagem para temperaturas superiores a 50°C, cuja estabilização para as temperaturas entre 55 °C e 70°C ocorre em um período de tempo de aproximadamente 30 minutos, indicando que a

temperatura é uma variável de influência no processo. Este fato é devido ao fenômeno de quanto maior a temperatura de secagem, mais rápida a remoção da água. É válido ressaltar que se as folhas, submetidas à temperatura do ar de secagem inferior a 50° C, permanecessem um período maior de tempo no secador, provavelmente, entrariam em equilíbrio de umidade com o ar de secagem também.

Com os valores médios obtidos da perda de massa do material úmido com o tempo, durante o processo, pode-se estimar a taxa de secagem em base seca pela Equação 2.2. A quantificação da derivada (dX/dt) é obtida a partir das equações da reta, Equação 4.11, e de Page (1949), Equação 4.12. Essas duas equações correspondem, respectivamente, aos dois períodos de secagem: período de secagem constante, trecho BC, e período de secagem decrescente, trecho CDE, conforme mostra as Figuras 2.3 e 2.4.

$$X = a + b \cdot t \quad \Rightarrow \quad \frac{dX}{dt} = b \quad (4.11)$$

$$X = c \cdot e^{-kt^n} \quad \Rightarrow \quad \frac{dX}{dt} = -c \cdot k \cdot n \cdot t^{n-1} \cdot e^{-kt^n} \quad (4.12)$$

A Tabela 4.1 traz os valores dos coeficientes dos modelos ajustados para o teor de umidade das folhas para os períodos à taxa de secagem constante e decrescente e as Figuras 4.2 e 4.3 representam graficamente a taxa de secagem em função do tempo e da umidade adimensional, respectivamente.

Tabela 4.1: Coeficientes dos modelos ajustados para o teor de umidade das folhas de *E. camaldulensis* para os períodos à taxa de secagem constante e decrescente.

Temperatura (°C)	Período de secagem constante $X_1 = a + b \cdot t$			Período de secagem decrescente $X_2 = c \cdot \exp(-k \cdot t^n)$			
	a	b	R ²	c	k	n	R ²
35	1,8391	-0,0088	0,9963	---	---	---	---
40	1,8158	-0,0169	0,9947	---	---	---	---
45	1,8878	-0,0376	0,9938	0,001357	-12,0785	-0,188016	0,9817
50	1,9174	-0,0670	0,9901	3,304519	0,140165	0,798348	0,9949
55	1,7467	-0,0979	0,9911	5,522153	0,343097	0,701525	0,9869
60	1,7978	-0,0994	0,9929	3,150356	0,170625	0,874377	0,9969
65	1,8087	-0,1028	0,9864	0,938940	0,000449	2,705838	0,9948
70	1,8454	-0,1057	0,9985	29,66825	0,546304	0,546304	0,9928

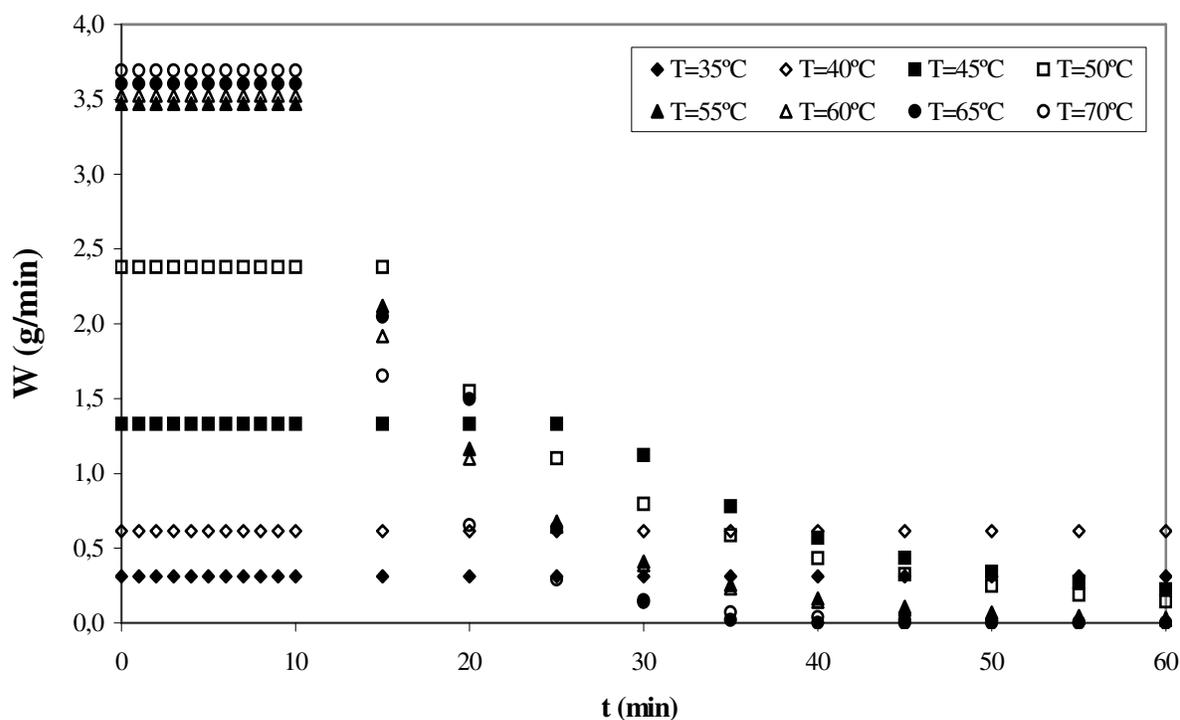


Figura 4.2: Taxa de secagem das folhas de *E.camaldulensis* em diferentes temperaturas do ar de secagem ao decorrer de 60 minutos.

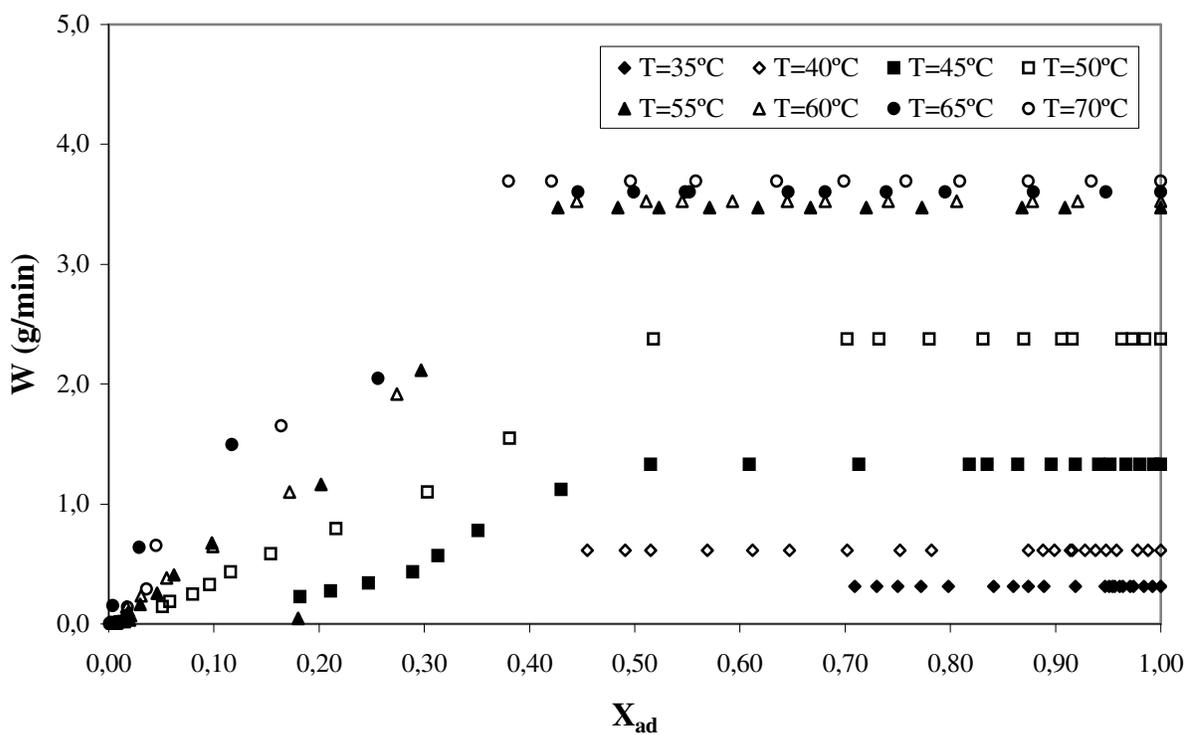


Figura 4.3: Taxa de secagem das folhas de *E. camaldulensis* em função da umidade adimensional.

As curvas da taxa de secagem têm comportamento similar às da cinética de secagem, isto é, o processo de secagem ocorre mais rapidamente no período de taxa constante para todas as condições estudadas, o qual acontece no início do processo e, para temperatura do ar de secagem igual ou superior a 45°C, observa-se também um período à taxa decrescente. Isso ocorre devido ao maior conteúdo umidade no início e ao gradual aumento da temperatura das folhas durante o processo de secagem em secador de leito fixo até atingir o estado de equilíbrio.

4.2. Rendimento do óleo essencial

O rendimento do óleo essencial, em base úmida, foi expresso pela razão entre a massa de óleo extraído e a massa de folhas frescas antes de serem submetidas à secagem, conforme Equação 4.1. Para efeito de comparação dos resultados, determinou-se o rendimento em base seca, o qual considera as folhas frescas isentas de umidade, de acordo com a Equação 4.2.

O rendimento, em base seca, conforme encontrado em Braga *et al.* (2001) parte do pressuposto sobre o quanto de umidade pode ser removida. Em outras palavras: o limite possível para a remoção da umidade. Por exemplo, antes de se efetuar a secagem, realiza-se a extração do óleo das folhas frescas, bem como a determinação de sua umidade determinando-se os rendimentos em base úmida e em base seca. O rendimento em base seca, neste exemplo, seria o desejado a ser obtido após a secagem, pois traz a noção da quantidade máxima de água a ser retirada. A partir de então, pode-se acompanhar o desempenho do secador, para as diversas temperaturas de ar de secagem utilizadas neste trabalho. Desse modo, ao dividir-se o rendimento em óleo essencial das folhas submetidas ao processo de secagem pelo rendimento em óleo essencial das folhas frescas, gera-se um novo parâmetro de comparação: o rendimento em óleo essencial adimensional, conforme expresso pela Equação 4.3. O adimensional procura amenizar a influência na análise do rendimento em óleo essencial após a secagem das folhas de *Eucalyptus camaldulensis*, uma vez que as folhas frescas (antes de serem submetidas à secagem) apresentam diferentes rendimentos em óleo essencial.

Os rendimentos calculados para cada extração encontram-se na Tabela 4.2 e 4.3 e é apresentado na forma gráfica pela Figura 4.5.

Tabela 4.2: Rendimento em óleo essencial extraído das folhas e *E. camaldulensis* para as temperaturas do ar de secagem de 35°C e 40°C.

Condição da Folha	Rd _{bu} (%)	Rd _{bs} (%)	Rd _{ad} (bu)
Folha fresca	0,1709	0,4815	---
Secagem à 35°C	0,3240	0,9128	1,8958
Secagem à 40°C	0,3516	0,9904	2,0573

Tabela 4.3: Rendimento em óleo essencial extraído das folhas e *E. camaldulensis* para as temperaturas do ar de secagem de 45°C a 70°C.

Condição da Folha	Rd _{bu} (%)	Rd _{bs} (%)	Rd _{ad} (bu)
Folha fresca	0,2287	0,6443	---
Secagem à 45°C	0,5062	1,4258	2,2134
Secagem à 50°C	0,5177	1,4584	2,2637
Secagem à 55°C	0,5872	1,6541	2,5676
Secagem à 60°C	0,8986	2,5312	3,9292
Secagem à 65°C	1,2390	3,4901	5,4176
Secagem à 70°C	1,2176	3,4299	5,3240

Verifica-se, por meio de inspeção das Tabelas 4.2 e 4.3, que o rendimento, em base úmida, dobra de valor para as temperaturas entre 35 e 60° C. Nesta figura também pode ser visualizado o rendimento do óleo essencial em base seca, os quais apresentam valores mais elevados que os rendimentos em base úmida, devido à suposição de que toda a água foi eliminada das folhas de *Eucalyptus camaldulensis*.

Analisando-se o rendimento de óleo essencial adimensional verifica-se que este tem seu valor elevado em 1,8 vezes já na primeira temperatura utilizada para secagem, 35°C. Esse valor tende a subir lentamente com o aumento da temperatura até 55°C. À temperatura do ar de secagem de 60° C, observa-se que o rendimento eleva-se novamente de forma considerável, quadruplicando de valor se comparado com o rendimento de óleo

obtido com as folhas frescas. Na temperatura de 65°C, ocorre mais uma vez um aumento deste valor, o qual chega a ser praticamente 5,5 vezes maior que o rendimento inicial. Por fim, na temperatura de 70°C, o rendimento mantém-se, aproximadamente, igual ao encontrado para a temperatura de 65°C.

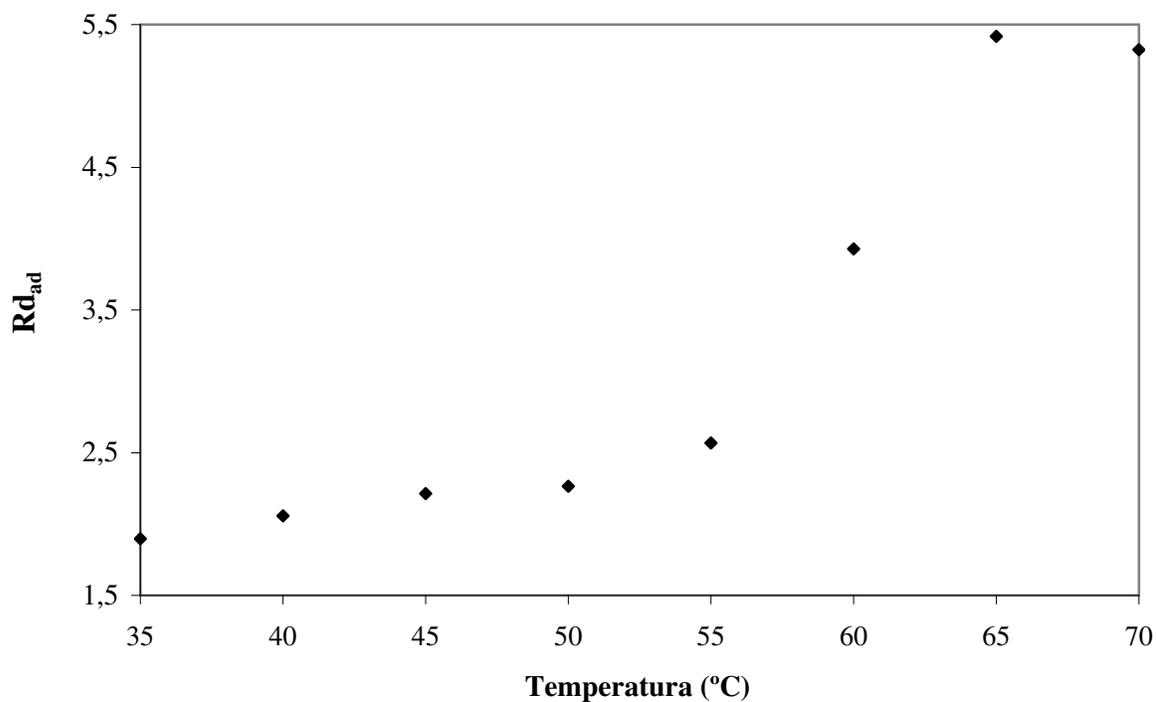


Figura 4.4: Rendimento em óleo essencial adimensional em função da temperatura do ar de secagem.

Esse fenômeno de aumento do rendimento em óleo essencial das folhas secas ocorre uma vez que ao remover a umidade é possível acondicionar mais massa de folhas isentas de água no mesmo volume do extrator.

Para temperaturas mais elevadas, o rendimento foi maior, pois se pressupõe a ocorrência de pré-rompimento dos bolsões superficiais das folhas que contém o óleo essencial.

4.3. Teor de 1,8-cineol

Para entender melhor como a temperatura do ar de secagem influi na composição do óleo essencial de *Eucalyptus camaldulensis* foram feitas análises para determinar as quantidades do componente principal presente no óleo, o 1,8-cineol.

A adimensionalização contida na Equação 4.4, de acordo com Braga e Cremasco (2002), é proposta tendo em vista os diferentes teores de 1,8-cineol presentes nas folhas frescas, ou seja, antes de serem submetidas à secagem. O adimensional, portanto, procura amenizar tal influência na análise do teor do cineol encontrado no óleo essencial após a secagem das folhas de *Eucalyptus camaldulensis*.

No Apêndice B encontram-se os cromatogramas obtidos nas análises cromatográficas.

Cada secagem só permitia a extração de uma amostra, devido à pequena quantidade de massa de folhas seca. Com isso, visto que ocorreram erros durante o procedimento de análise cromatográfica e existia uma pequena quantidade de óleo essencial contida em cada amostra, para algumas temperaturas não há resultados em duplicata, conforme observado no Apêndice B.

As Tabelas 4.4 e 4.5 apresentam os valores dos resultados das análises cromatográficas e a Figura 4.6 traz os dados obtidos adimensionalizados representados de forma gráfica.

Tabela 4.4: Teor de cineol no óleo essencial de *E. camaldulensis* para as temperaturas do ar de secagem de 35°C e 40°C.

Condição da Folha	% Cineol	Cineol _{rel}
Folha fresca	19,5295	---
Secagem à 35°C	19,5306	1,0001
Secagem à 40°C	23,476	1,2021

Tabela 4.5: Teor de cineol no óleo essencial de *E. camaldulensis* para as temperaturas do ar de secagem de 45°C e 70°C.

Condição da Folha	% Cineol	Cineol _{rel}
Folha fresca	31,986	---
Secagem à 45°C	40,443	1,2644
Secagem à 50°C	40,085	1,2532
Secagem à 55°C	45,551	1,4241
Secagem à 60°C	46,704	1,4601
Secagem à 65°C	48,416	1,5137
Secagem à 70°C	54,533	1,7049

Observando-se as Tabelas 4.4 e 4.5, tem-se que o maior teor de cineol ocorreu para a temperatura do ar de secagem de 70°C.

Para uma possível conclusão da melhor temperatura do ar de secagem analisada, construiu-se a curva que relaciona o teor de cineol adimensional com o rendimento em óleo essencial adimensional para cada temperatura, que é apresentada na Figura 4.5.

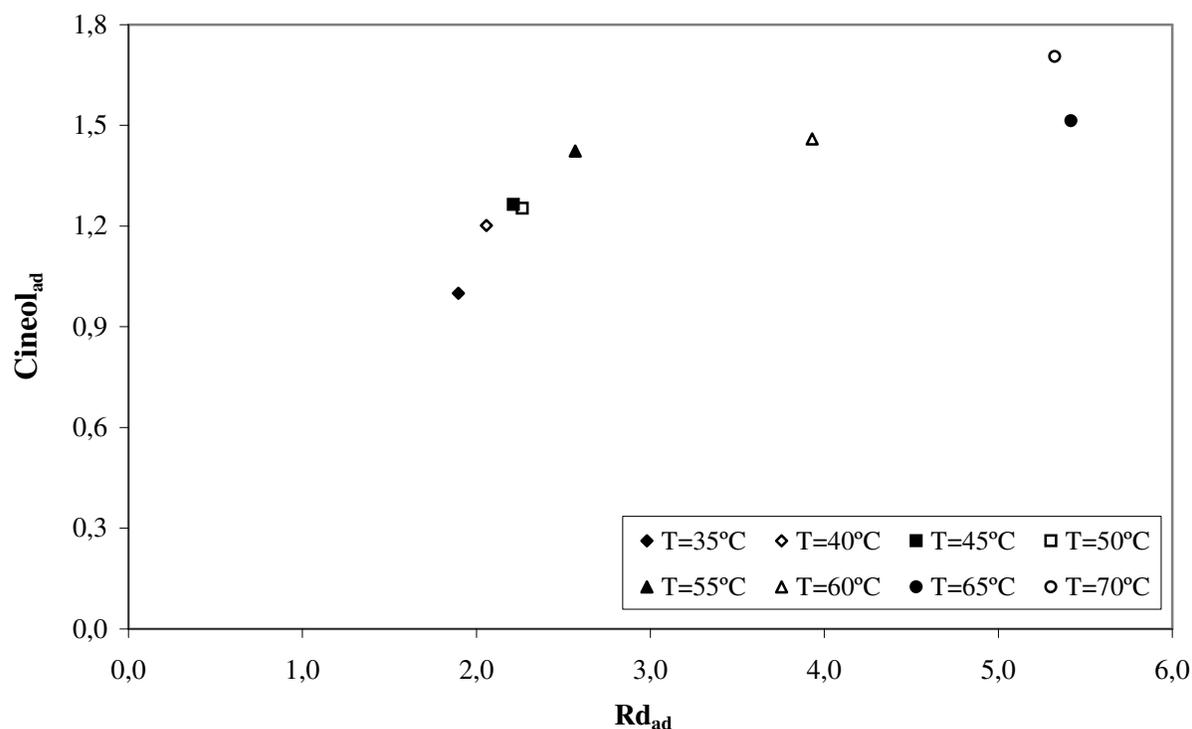


Figura 4.5: Teor de cineol adimensional em função do rendimento em óleo essencial adimensional para cada temperatura do ar de secagem das folhas.

Nota-se, na Figura 4.5, que ocorreu o aumento no teor de cineol com o aumento da temperatura do ar de secagem. Isso pode ser explicado devido às diferentes pressões de vapor dos compostos presentes no óleo essencial de *Eucalyptus camaldulensis*, o que pode ter ocasionado a volatilização de um ou mais composto não-identificados, aumentando assim a concentração do cineol. Outra explicação possível é que devido à vulnerabilidade a mudanças químicas de certas substâncias presentes no óleo em estudo, essas podem ter se degradado na etapa de secagem das folhas ou na destilação do óleo essencial. É válido ressaltar que o 1,8-cineol resiste à decomposição térmica (Barton, 1999).

Com base na relação entre estes dois parâmetros pode-se concluir que, para as condições de carga úmida, velocidade do ar de secagem e tempo de secagem utilizados neste trabalho, a melhor temperatura para a secagem das folhas é à 65°C, visto que é obtido um maior rendimento em óleo essencial e um teor de cineol elevado se comparado com o das folhas úmidas de *E. camaldulensis*. Apesar do teor de cineol adimensional ser maior à 70° C, escolheu-se como melhor opção a temperatura do ar de secagem a 65° C, devido ao menor gasto energético no processo de secagem a esta temperatura.

4.4. Temperatura final das folhas de *E. camaldulensis*

No início e final de cada experimento, mediu-se a temperatura das folhas de *E. camaldulensis*, possibilitando a comparação entre a temperatura final da folha e a temperatura de saída do ar do secador no final da operação de secagem, que foi registrada pelo aquisitor de dados. Os valores destas temperaturas podem ser encontrados na Tabela 4.6 e a representação gráfica é apresentada na Figura 4.6.

Na Figura 4.6 pode-se visualizar que com o aumento da temperatura do ar de secagem, é possível a obtenção da temperatura final das folhas bastante próximas daquelas obtidas na saída do secador.

Há de se notar, por inspeção das Tabelas A8, A9 e A10, contidas no Apêndice A, que para temperaturas superiores a 60° C, a massa de folhas secas mantém-se praticamente constante a partir de 30 minutos do início do processo de secagem. Ou seja, a partir deste tempo, o ar fornecido às folhas servirá apenas para aquecê-las sem que haja a remoção de

umidade, levando-as a praticamente a entrar em equilíbrio com a temperatura do ar de descarga do secador, como mostra a Figura 4.8.

Tabela 4.6: Temperaturas das folhas no final do processo de secagem e do ar na saída do secador para as diferentes temperaturas do ar de secagem.

Temperatura (°C)	$T_{\text{folha inicial}}$ (°C)	$T_{\text{folha final}}$ (°C)	$T_{\text{ar saída}}$ (°C)	$\frac{T_{\text{folha final}}}{T_{\text{folha inicial}}}$	$\frac{T_{\text{ar saída}}}{T_{\text{folha inicial}}}$
35	20,0	27,0	31,8	1,35	1,59
40	20,0	30,4	34,7	1,52	1,74
45	19,7	35,9	39,5	1,83	2,01
50	18,9	40,9	45,7	2,16	2,42
55	19,3	46,2	49,7	2,40	2,58
60	19,4	50,8	53,1	2,63	2,74
65	19,3	56,9	57,3	2,96	2,98
70	19,3	57,0	57,3	2,95	2,97

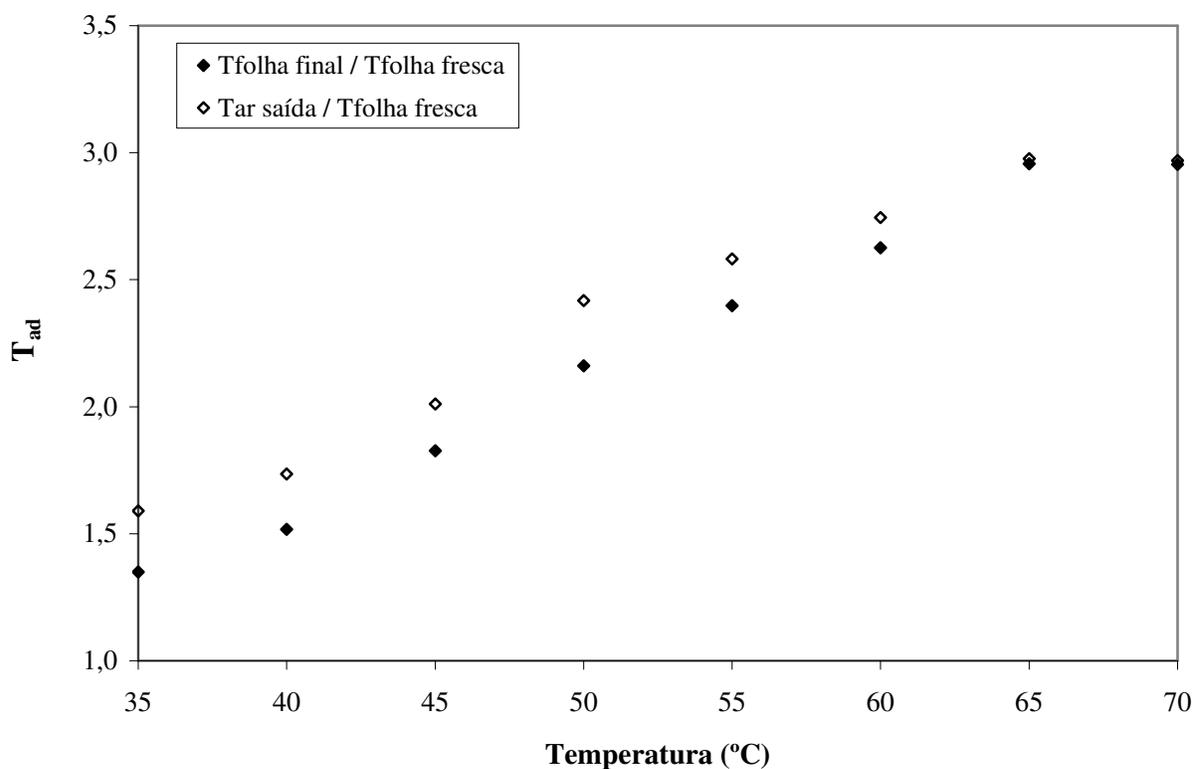


Figura 4.6: Temperaturas adimensionais das folhas ao final da secagem e do ar de saída do secador em função da temperatura do ar de secagem das folhas.

Esta figura reforça a opção de se utilizar a temperatura de 65° C, pois a temperatura das folhas ao final de 1 hora de processamento, é praticamente a mesma daquela da saída do secador (vide Tabela 4.6). Uma vez que com a elevação da temperatura das folhas, ocorrerá a degradação de outros terpenos aumentando a concentração de 1,8-cineol no óleo essencial, segundo Barton (1999).

Capítulo 5 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Um secador tipo leito fixo, em escala laboratorial, foi utilizado neste trabalho para secar folhas de *Eucalyptus camaldulensis* e um destilador tipo Clevenger, para a extração do óleo essencial das folhas em questão. O objetivo deste trabalho foi o de analisar a influência da temperatura do ar de secagem no rendimento do óleo essencial e no teor do cineol presente neste óleo. Por meio da análise dos resultados experimentais obtidos, foi possível chegar às seguintes conclusões:

- A secagem de folhas de *Eucalyptus camaldulensis* em secador tipo leito fixo, nas condições operacionais estudadas ($m_0 = 100$ g; $v = 0,60$ m/s; $t = 60$ min), aumentou em até 5,4 vezes o rendimento em óleo essencial e proporcionou um aumento de 1,7 vezes no teor de 1,8-cineol.
- A temperatura mais indicada para o processo é a de 65°C , visto que a esta temperatura as folhas se encontram secas a partir de 30 minutos, sendo que no final de 60 minutos a temperatura das folhas é muito próxima da do ar na saída do secador, o rendimento em óleo essencial tem um aumento máximo dentre as temperaturas analisadas e o teor de cineol tem um aumento de 542 %, aproximadamente.
- A elevação dos índices dos rendimentos em óleo essencial está ligada diretamente a remoção de umidade das folhas de *Eucalyptus camaldulensis* e da temperatura do ar de secagem.
- É viável a secagem das folhas de *E. camaldulensis* tendo em vista o aumento do rendimento em óleo essencial extraído das folhas secas.

Para dar continuidade ao estudo do processo de otimização de secagem de folhas de *Eucalyptus camaldulensis*, sugere-se:

- Determinar e quantificar os componentes presentes no óleo essencial de *E. camaldulensis*.
- Analisar a influência de outros parâmetros operacionais, como por exemplo, a carga inicial de folha úmida, a velocidade do ar de secagem e o tempo de secagem no rendimento de óleo essencial e no teor de 1,8-cineol nele presente.

- Desenvolver um método específico para determinação da umidade inicial de folhas de eucalipto realizado em estufa.
- Estudar outras espécies de eucalipto, ressaltando o *Eucalyptus globulus* que possui também o 1,8-cineol como componente principal.
- Estudar a secagem das folhas de *Eucalyptus camaldulensis* de forma desorganizada no leito do secador.
- Analisar a decomposição térmica do 1,8-cineol, presente nas folhas de *Eucalyptus camaldulensis*, com a elevação da temperatura.

Capítulo 6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araújo, H. B. **Avaliação de espécies e procedências de eucaliptos na região de Umbuzeiro**, PB. Universidade Federal de Viçosa (Tese de mestrado). Viçosa, 75 p., 1993.
- Balacs, T. Cineole-rich *Eucalyptus*. **The Internacional Journal of Aromatherapy**, vol. 8, nº 2, p.15-21, 1997.
- Barton, A. F. M. Industrial use of *Eucalyptus* oil. **Proceedings, The Oil Mallee Profitable Landcare Seminar, Oil Mallee Association of WA**, Western Australia, p.43-54, 1999.
- Bertola, A. Eucalipto – 100 anos no Brasil. Fevereiro de 2004. Disponível em: <http://www.remade.com.br/artigos/materiais.php?artigo=Eucalipto>. Acessado em: 15 de agosto de 2004.
- Boland, J.; Brophy, J. J. and House, A. P. N. ***Eucalyptus* leaf oils: Use, chemistry, distillation and marketing**. Australian Central for International Agricultural Research, Inkata Press, Melbourne, Austrália, 1991.
- Braga, N.P.; Cremasco, M.A.; Valle, R.C.C.R. Effects of fixed bed drying on the yield and composition of essential oil from long pepper (*Piper hispidinervium* C. DC.) leaves. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, vol. 22, nº. 02, p.257-262, 2005.
- Braga, N.P; Brito, J.O.; Cremasco, M. A. Estudo da secagem das folhas de *Eucalyptus Staigeriana* por meio do acompanhamento da umidade do ar de descarga do secador. **Anais do XV COBEQ**, Congresso Brasileiro de Engenharia Química, CD ROM, Curitiba, 2004.
- Braga, N.P.; Cremasco, M. A., The influence of drying temperature on the yield and composition of essential oil from *E. citriodora* leaves after extraction process, in **Proceedings of Drying'2002**, CD ROM, China, August-2002.
- Braga, N.P; Brito, J.O.; Cremasco, M. A., Influência da secagem em leito fixo no teor de citronelal contido no óleo essencial de *E. Citriodora*, **Anais do XIV COBEQ**, Congresso Brasileiro de Engenharia Química, CD ROM, Natal, 2002.
- Braga, N. P. **Influência da secagem no rendimento e na composição do óleo essencial das folhas de *Eucalyptus citriodora***. Unicamp (Tese de mestrado). Campinas-SP, 151 p., 2002.

- Brito, J. O. Goma-resina de pinus e óleos essenciais de eucalipto: Destaques na área de produtos florestais não-madeireiros. Tecnologia de produtos florestais, LCF/ESALQ/USP, Brasil, 2002. Disponível em: <<http://www.ipef.br/tecprodutos/gomaeoleos.asp>>. Acessado em 08 de abril de 2005.
- Collins, C. H.; Braga, G. L.; Bonato, P. S. **Introdução a métodos cromatográficos**. 5ª ed. rev. e ampl., Campinas: Editora da Unicamp, 1997.
- Corrêa, R. M.; Bertolucci, S. K. V.; Pinto, J. E. B. P.; Reis, E. S.; Alves, T. L. Rendimento de óleo essencial e caracterização organoléptica de folhas de assa-peixe submetidas a diferentes métodos de secagem. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v.28, n° 2, p.341-346, 2004.
- Costa, C. M. L. **Influência das condições de secagem no rendimento e na composição do óleo essencial de pimenta longa (*Piper hispidinervium* C. DC.)**. DEQ/UFPa (Tese de Mestrado). Belém-Pa, 1999.
- Doran, J.C. Commercial sources, uses, formation, and biology. **In:** Boland, D.J.; Brophy, J.J. and House, A.P.N. **Eucalyptus leaf oils: Use, chemistry, distillation and marketing**. Australian Central for International Agricultural Research, Inkata Press, Melbourne, p.11-28, Austrália, 1991.
- Dunlop, P. J.; Bignell, C. M.; Jackson, J. F.; Hibbert, D. B. Chemometric analysis of chromatographic data of oils from Eucalyptus species. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, n° 30, p.56-97, 1995.
- Faria, L. J. G. **Análise experimental do processo de secagem de urucum (*Bixa orellana* L.) em leito fixo**. Tese de Doutorado. Campinas, SP, 1998.
- Jesuz, J. C.; Radünz, L. L.; Melo, E. C.; Souza, J. A. R.; Rocha, R. P.; Berbert, P. A. Sistema de controle automático da temperatura do ar de secagem em secador de plantas medicinais. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.3, n° 1, p.43-46, 2001.
- Keey, R. B. **Introduction to industrial drying operations**. Oxford: Pergomon Press, 376 p., 1978.
- Koller, W. D.; Raghavan, B. Quality of dried herbs. **Poster presented at the 9th World Congress of Food Science and Technology**, Budapest, Hungary, agosto de 1995.
- Nonhebel, G. M.; Moss, A. A. H. **Drying of solids in the chemistry industry**. London: Butterworth, 1971.

- Page, G. E. **Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin-layer.** M. Sc. Thesis. Indiana: Purdue University, 1949.
- Pagula, P. F.; Baser, K. H. C.; Kürkcüoglu, M. Essential oil composition of *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. from Mozambique. **Journal of Essential Oil Research**, v.12, p.333-335, 2000.
- Perry, R. H.; Chilton, C. H. (Eds.) **Chemical Engineer's Handbook**. 5 ed., New York: McGraw-Hill Book, New York, 1973.
- Radünz, L. L; Melo, E. C.; Martins, P. M. Secagem de alecrim pimenta (*Lippia sidoides Cham.*) em secador de leito fixo. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v.5, nº 1, p.79-82, 2002-a.
- Radünz, L. L; Melo, E. C.; Berbert, P. A. Efeitos da temperatura do ar de secagem sobre a qualidade do óleo essencial de alecrim pimenta (*Lippia sidoides Cham.*). **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v.27, nº 2, p.9-13, 2002-b.
- Sherwood, T. K. The drying of solids II. **Industrial and Engineering Chemistry**, v.22, nº 10, p.976-980, outubro de 1929.
- Silva, J.C. e Oliveira, J.T.S. Óleos essenciais de eucalipto, Revista da Madeira, agosto de 2003, nº 75, ano 13. Disponível em: <http://www.remade.com.br/revista/materia.php?edicao=75&id=407>. Acessado em: 14 de novembro de 2004.
- Simões, C. M. O.; Spitzer, V. Óleos Voláteis. **Em: Simões, C. M. O. et al. Farmacognosia da planta ao medicamento.** Editora da UFRGS / Editora da UFSC, Porto Alegre-RS / Florianópolis-SC, p.387-416, 1999.
- Spanó, J.C.E.; Barbin, E.L.; Bonini, A.; Pécora, J.D. Eficácia dos óleos essenciais na desobturação dos canais radiculares. **Revista Odontológica Brasil Central**, v.5, nº 4, p.25-28, 2005.
- Strumillo, C. e Kudra, T. **Drying: principles, applications and design. Topics in Chemical Engineering**, v.3, Gordon and Beach Science Publishes, 1986.
- Vitti, A. M. S. e Brito, J. O. Óleo essencial de eucalipto. **Documentos Florestais**, nº 17, p.1-26, ESALQ / USP, agosto de 2003.

Apêndice A

DADOS EXPERIMENTAIS DOS ENSAIOS DE SECAGEM DAS FOLHAS DE *EUCALYPTUS CAMALDULENSIS*

Tabela A1: Dados experimentais dos ensaios de secagem das folhas de *Eucalyptus camaldulensis* realizados, utilizando-se as temperaturas do ar de secagem de 35°C, 40°C, 45°C e 50°C.

t (min)	M_{folhas} (g)							
	T = 35°C		T = 40°C		T = 45°C		T = 50°C	
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 1	Ensaio 2
0	101,48	101,27	103,82	103,37	101,08	100,16	101,52	100,27
1	100,56	101,21	102,98	102,63	100,74	99,53	99,77	100,06
2	100,17	100,42	102,50	101,78	99,83	98,87	98,83	99,38
3	99,86	99,50	100,91	100,67	98,97	98,02	98,44	98,49
4	99,43	99,45	100,30	99,84	98,50	96,45	95,93	94,92
5	98,98	98,98	99,68	99,25	97,73	95,78	95,11	94,38
6	98,69	98,84	98,85	98,62	96,57	94,13	92,42	92,38
7	98,30	98,63	97,58	97,98	94,61	93,05	89,56	90,12
8	98,13	98,49	96,45	97,13	92,18	91,29	86,53	86,49
9	97,96	98,35	95,74	96,38	89,43	90,27	83,22	83,46
10	97,56	98,22	94,16	96,04	88,55	88,94	80,99	81,84
15	95,55	96,52	90,49	91,94	82,08	81,78	69,46	69,28
20	94,06	94,13	88,12	89,71	75,18	75,07	60,38	60,47
25	93,17	93,02	86,02	87,82	68,96	68,99	55,21	55,44
30	91,99	92,32	82,53	84,56	63,40	63,50	50,63	48,54
35	90,67	91,18	78,45	81,16	58,28	58,26	45,57	45,50
40	88,06	88,10	75,95	79,01	55,89	55,73	43,40	42,79
45	85,87	86,84	73,48	75,78	54,46	54,07	41,87	41,64
50	85,24	84,55	69,73	72,20	51,22	51,82	40,58	40,94
55	83,66	83,47	68,76	69,88	49,45	48,88	39,63	38,97
60	82,29	82,12	66,74	67,15	47,39	47,11	38,94	38,75

Tabela A2: Dados experimentais dos ensaios de secagem das folhas de *Eucalyptus camaldulensis* realizados, utilizando-se as temperaturas do ar de secagem de 55°C, 60°C, 65°C e 70°C.

t (min)	M_{folhas} (g)							
	T = 55°C		T = 60°C		T = 65°C		T = 70°C	
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 1	Ensaio 2
0	100,74	100,77	100,49	101,11	99,26	99,98	99,14	99,45
1	94,84	94,76	95,38	95,83	96,14	96,38	95,76	94,38
2	91,62	92,64	92,09	93,60	91,56	92,02	90,57	91,69
3	86,09	85,78	87,78	88,48	87,20	85,50	86,80	87,18
4	82,58	82,39	83,46	84,32	82,83	82,66	83,77	83,72
5	78,97	78,96	79,75	80,23	79,31	78,70	79,44	80,46
6	75,70	75,78	78,00	77,26	77,13	76,42	76,47	75,14
7	73,60	71,86	74,07	74,42	71,39	69,90	70,89	70,77
8	71,30	67,88	70,87	71,30	71,34	69,59	67,06	66,66
9	68,99	65,17	67,83	69,85	68,28	66,27	62,98	61,01
10	64,20	62,53	65,02	64,03	63,79	63,89	59,15	59,60
15	55,90	53,76	53,32	53,43	52,32	50,81	45,40	45,54
20	49,16	48,17	46,11	47,29	43,18	42,02	38,44	37,20
25	42,44	41,28	42,25	41,61	38,49	35,37	37,62	36,83
30	39,65	39,43	39,53	38,64	35,42	35,19	36,06	36,20
35	38,40	38,55	37,93	37,05	35,78	35,25	36,02	36,17
40	37,20	37,58	36,68	36,50	36,04	35,33	36,10	35,87
45	36,68	36,03	36,34	36,93	35,56	35,14	36,01	35,18
50	36,87	36,71	36,15	36,71	35,68	35,72	34,91	35,16
55	36,74	36,59	36,26	36,67	35,38	35,25	34,97	35,11
60	36,74	36,68	36,21	36,72	34,98	35,70	34,92	35,10

Tabela A3: Média dos dados experimentais dos ensaios de secagem das folhas de *Eucalyptus camaldulensis* realizados, utilizando-se a temperatura do ar de secagem de 35°C e outros dados calculados para a mesma temperatura.

t (min)	\bar{M}_{folha} (g)	U (%)	X	X_{rel}	W (g/min)
0	101,375	64,949	1,853	1,000	0,3127
1	100,885	64,779	1,839	0,992	0,3127
2	100,295	64,572	1,823	0,984	0,3127
3	99,680	64,353	1,805	0,974	0,3127
4	99,44	64,267	1,799	0,971	0,3127
5	98,98	64,101	1,786	0,964	0,3127
6	98,765	64,023	1,780	0,961	0,3127
7	98,465	63,913	1,771	0,956	0,3127
8	98,310	63,856	1,767	0,954	0,3127
9	98,155	63,799	1,762	0,951	0,3127
10	97,890	63,701	1,755	0,947	0,3127
15	96,035	63,000	1,703	0,919	0,3127
20	94,095	62,237	1,648	0,889	0,3127
25	93,095	61,831	1,620	0,874	0,3127
30	92,155	61,442	1,593	0,860	0,3127
35	90,925	60,921	1,559	0,841	0,3127
40	88,08	59,658	1,479	0,798	0,3127
45	86,355	58,852	1,430	0,772	0,3127
50	84,895	58,145	1,389	0,750	0,3127
55	83,565	57,479	1,352	0,730	0,3127
60	82,205	56,775	1,313	0,709	0,3127

$U_0 = 64,949 \%$

Umidade relativa do ar de secagem na entrada do secador: 17,115 %.

Tabela A4: Média dos dados experimentais dos ensaios de secagem das folhas de *Eucalyptus camaldulensis* realizados, utilizando-se a temperatura do ar de secagem de 40°C e outros dados calculados para a mesma temperatura.

t (min)	\bar{M}_{folha} (g)	U (%)	X	X _{rel}	W (g/min)
0	103,595	64,949	1,853	1,000	0,6137
1	102,805	64,680	1,831	0,988	0,6137
2	102,140	64,450	1,813	0,978	0,6137
3	100,790	63,974	1,776	0,958	0,6137
4	100,070	63,714	1,756	0,948	0,6137
5	99,465	63,494	1,739	0,938	0,6137
6	98,735	63,224	1,719	0,928	0,6137
7	97,780	62,865	1,693	0,914	0,6137
8	96,790	62,485	1,666	0,899	0,6137
9	96,060	62,200	1,646	0,888	0,6137
10	95,100	61,818	1,619	0,874	0,6137
15	91,215	60,192	1,512	0,916	0,6137
20	88,915	59,162	1,449	0,782	0,6137
25	86,920	58,225	1,394	0,752	0,6137
30	83,545	56,537	1,301	0,702	0,6137
35	79,805	54,500	1,198	0,647	0,6137
40	77,48	53,135	1,134	0,612	0,6137
45	74,63	51,345	1,055	0,569	0,6137
50	70,965	48,833	0,954	0,515	0,6137
55	69,320	47,618	0,909	0,491	0,6137
60	66,945	45,760	0,844	0,455	0,6137

$U_0 = 64,949 \%$

Umidade relativa do ar de secagem na entrada do secador: 11,730 %.

Tabela A5: Média dos dados experimentais dos ensaios de secagem das folhas de *Eucalyptus camaldulensis* realizados, utilizando-se a temperatura do ar de secagem de 45°C e outros dados calculados para a mesma temperatura.

t (min)	\bar{M}_{folha} (g)	U (%)	X	X_{rel}	W (g/min)
0	100,620	64,816	1,842	1,000	1,3311
1	100,135	64,646	1,829	0,993	1,3311
2	99,350	64,366	1,806	0,980	1,3311
3	98,495	64,057	1,782	0,967	1,3311
4	97,475	63,681	1,753	0,952	1,3311
5	96,755	63,411	1,733	0,941	1,3311
6	95,350	62,872	1,693	0,919	1,3311
7	93,830	62,270	1,650	0,896	1,3311
8	91,735	61,408	1,591	0,864	1,3311
9	89,850	60,599	1,538	0,835	1,3311
10	88,745	60,108	1,507	0,818	1,3311
15	81,930	56,790	1,314	0,713	1,3311
20	75,125	52,876	1,122	0,609	1,3311
25	68,975	48,674	0,948	0,515	1,3311
30	63,450	44,205	0,792	0,430	1,1230
35	58,270	39,245	0,646	0,351	0,7795
40	55,810	36,567	0,576	0,313	0,5705
45	54,265	34,761	0,533	0,289	0,4346
50	51,520	31,285	0,455	0,247	0,3415
55	49,165	27,993	0,389	0,211	0,2752
60	47,250	25,075	0,335	0,182	0,2263

$U_0 = 64,816 \%$

Umidade relativa do ar de secagem na entrada do secador: 10,315 %.

Tabela A6: Média dos dados experimentais dos ensaios de secagem das folhas de *Eucalyptus camaldulensis* realizados, utilizando-se a temperatura do ar de secagem de 50°C e outros dados calculados para a mesma temperatura.

t (min)	\bar{M}_{folha} (g)	U (%)	X	X _{rel}	W (g/min)
0	100,895	64,816	1,842	1,000	2,3784
1	99,915	64,471	1,815	0,985	2,3784
2	99,105	64,180	1,792	0,973	2,3784
3	98,465	63,948	1,774	0,963	2,3784
4	95,425	62,799	1,688	0,916	2,3784
5	94,745	62,532	1,669	0,906	2,3784
6	92,400	61,581	1,603	0,870	2,3784
7	89,840	60,486	1,531	0,831	2,3784
8	86,510	58,965	1,437	0,780	2,3784
9	83,340	57,405	1,348	0,732	2,3784
10	81,415	56,397	1,293	0,702	2,3784
15	69,370	48,827	0,954	0,518	2,3784
20	60,425	41,251	0,702	0,381	1,5513
25	55,325	35,836	0,559	0,303	1,1005
30	49,585	28,408	0,397	0,216	0,7952
35	45,535	22,040	0,283	0,154	0,5857
40	43,095	17,626	0,214	0,116	0,4331
45	41,755	14,983	0,176	0,096	0,3266
50	40,760	12,907	0,148	0,080	0,2485
55	39,300	9,672	0,107	0,058	0,1881
60	38,845	8,614	0,094	0,051	0,1455

$U_0 = 64,816 \%$

Umidade relativa do ar de secagem na entrada do secador: 8,055 %.

Tabela A7: Média dos dados experimentais dos ensaios de secagem das folhas de *Eucalyptus camaldulensis* realizados, utilizando-se a temperatura do ar de secagem de 55°C e outros dados calculados para a mesma temperatura.

t (min)	\bar{M}_{folha} (g)	U (%)	X	X _{rel}	W (g/min)
0	100,755	64,816	1,842	1,000	3,4706
1	94,800	62,605	1,674	0,909	3,4706
2	92,130	61,522	1,599	0,868	3,4706
3	85,935	58,748	1,424	0,773	3,4706
4	82,485	57,022	1,327	0,720	3,4706
5	78,965	55,107	1,228	0,667	3,4706
6	75,740	53,195	1,137	0,617	3,4706
7	72,730	51,258	1,052	0,571	3,4706
8	69,590	49,059	0,963	0,523	3,4706
9	67,080	47,153	0,892	0,484	3,4706
10	63,363	44,053	0,787	0,427	3,4706
15	54,830	35,346	0,547	0,297	2,1191
20	48,665	27,155	0,373	0,202	1,1645
25	41,860	15,313	0,181	0,098	0,6771
30	39,540	10,344	0,115	0,062	0,4098
35	38,475	7,862	0,085	0,046	0,2556
40	37,390	5,189	0,055	0,030	0,1633
45	36,705	3,419	0,035	0,019	0,1064
50	36,790	3,642	0,038	0,021	0,0705
55	36,665	3,314	0,034	0,180	0,0474
60	36,710	3,432	0,036	0,020	0,0322

$U_0 = 64,816 \%$

Umidade relativa do ar de secagem na entrada do secador: 6,640 %.

Tabela A8: Média dos dados experimentais dos ensaios de secagem das folhas de *Eucalyptus camaldulensis* realizados, utilizando-se a temperatura do ar de secagem de 60°C e outros dados calculados para a mesma temperatura.

t (min)	\bar{M}_{folha} (g)	U (%)	X	X _{rel}	W (g/min)
0	100,800	64,816	1,842	1,000	3,5252
1	95,605	62,905	1,696	0,921	3,5252
2	92,845	61,802	1,618	0,878	3,5252
3	88,130	59,758	1,485	0,806	3,5252
4	83,890	57,724	1,365	0,741	3,5252
5	79,990	55,663	1,255	0,681	3,5252
6	77,630	54,315	1,189	0,645	3,5252
7	74,245	52,232	1,093	0,593	3,5252
8	71,085	50,109	1,004	0,545	3,5252
9	68,840	48,482	0,941	0,511	3,5252
10	64,525	45,037	0,819	0,445	3,5252
15	53,375	33,555	0,505	0,274	1,9194
20	46,700	24,058	0,317	0,172	1,0996
25	41,930	15,419	0,182	0,099	0,6455
30	39,085	9,262	0,102	0,055	0,3857
35	37,490	5,401	0,057	0,031	0,2337
40	36,590	3,075	0,032	0,017	0,1432
45	36,635	3,194	0,033	0,018	0,0885
50	36,430	2,649	0,027	0,015	0,0552
55	36,465	2,742	0,028	0,015	0,0347
60	36,465	2,742	0,028	0,015	0,0219

$U_0 = 64,816 \%$

Umidade relativa do ar de secagem na entrada do secador: 4,165 %.

Tabela A9: Média dos dados experimentais dos ensaios de secagem das folhas de *Eucalyptus camaldulensis* realizados, utilizando-se a temperatura do ar de secagem de 65°C e outros dados calculados para a mesma temperatura.

t (min)	\bar{M}_{folha} (g)	U (%)	X	X _{rel}	W (g/min)
0	99,620	64,816	1,842	1,000	3,6031
1	96,260	63,588	1,746	0,948	3,6031
2	91,790	61,815	1,619	0,879	3,6031
3	86,350	59,409	1,464	0,795	3,6031
4	82,745	57,641	1,361	0,739	3,6031
5	79,005	55,636	1,254	0,681	3,6031
6	76,775	54,347	1,190	0,646	3,6031
7	70,645	50,386	1,016	0,552	3,6031
8	70,465	50,259	1,010	0,548	3,6031
9	67,275	47,900	0,919	0,499	3,6031
10	63,840	45,097	0,821	0,446	3,6031
15	51,565	32,028	0,471	0,256	2,0482
20	42,600	17,723	0,215	0,117	1,4961
25	36,930	5,091	0,054	0,029	0,6375
30	35,305	0,722	0,007	0,004	0,1534
35	35,515	1,309	0,013	0,007	0,0199
40	35,685	1,779	0,018	0,010	0,0013
45	35,350	0,849	0,009	0,005	0,0000
50	35,700	1,821	0,019	0,010	0,0000
55	35,120	0,199	0,002	0,001	0,0000
60	35,340	0,821	0,008	0,004	0,0000

$U_0 = 64,816 \%$

Umidade relativa do ar de secagem na entrada do secador: 2,130 %.

Tabela A10: Média dos dados experimentais dos ensaios de secagem das folhas de *Eucalyptus camaldulensis* realizados, utilizando-se a temperatura do ar de secagem de 70°C e outros dados calculados para a mesma temperatura.

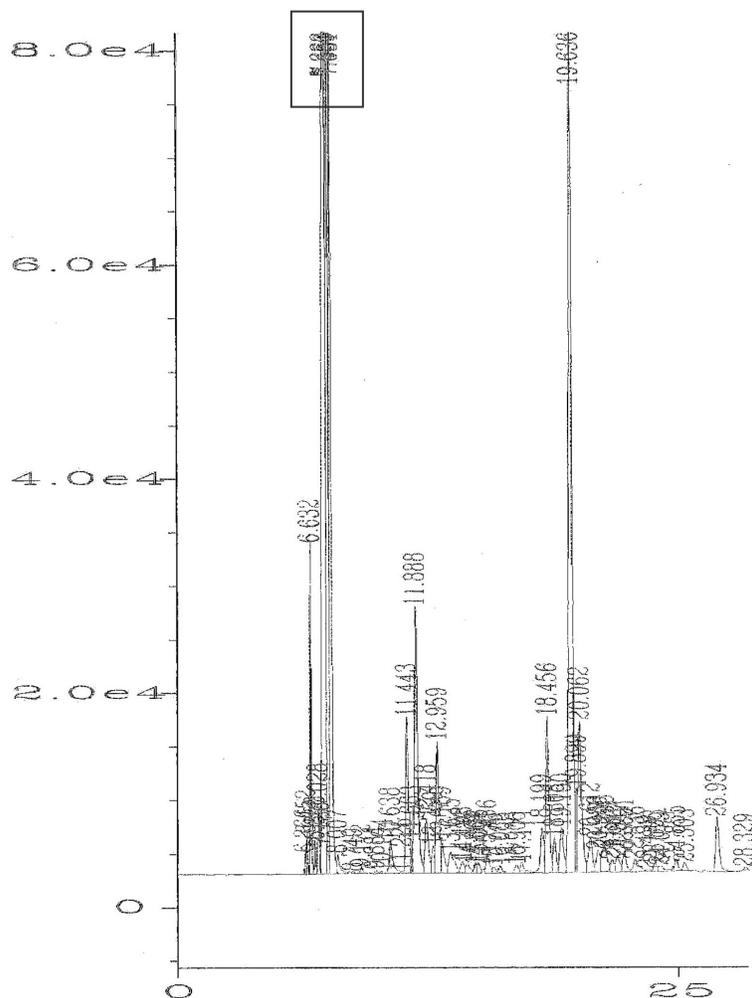
t (min)	\bar{M}_{folha} (g)	U (%)	X	X _{rel}	W (g/min)
0	99,295	64,816	1,842	1,000	3,6927
1	95,070	63,252	1,721	0,934	3,6927
2	91,130	61,664	1,609	0,874	3,6927
3	86,990	59,839	1,490	0,809	3,6927
4	83,745	58,283	1,397	0,758	3,6927
5	79,950	56,303	1,288	0,699	3,6927
6	75,805	53,913	1,170	0,635	3,6927
7	70,830	50,676	1,027	0,558	3,6927
8	66,860	47,748	0,914	0,496	3,6927
9	61,995	43,647	0,775	0,421	3,6927
10	59,375	41,160	0,700	0,380	3,6927
15	45,470	23,167	0,302	0,164	1,6519
20	37,820	7,626	0,083	0,045	0,6548
25	37,225	6,149	0,066	0,036	0,2914
30	36,130	3,305	0,034	0,018	0,1405
35	36,095	3,211	0,033	0,018	0,0720
40	35,985	2,915	0,030	0,016	0,0386
45	35,595	1,851	0,019	0,010	0,0215
50	35,035	0,283	0,003	0,002	0,0124
55	35,040	0,297	0,003	0,002	0,0073
60	35,010	0,211	0,002	0,001	0,0044

$U_0 = 64,816 \%$

Umidade relativa do ar de secagem na entrada do secador: 2,200 %.

Apêndice B

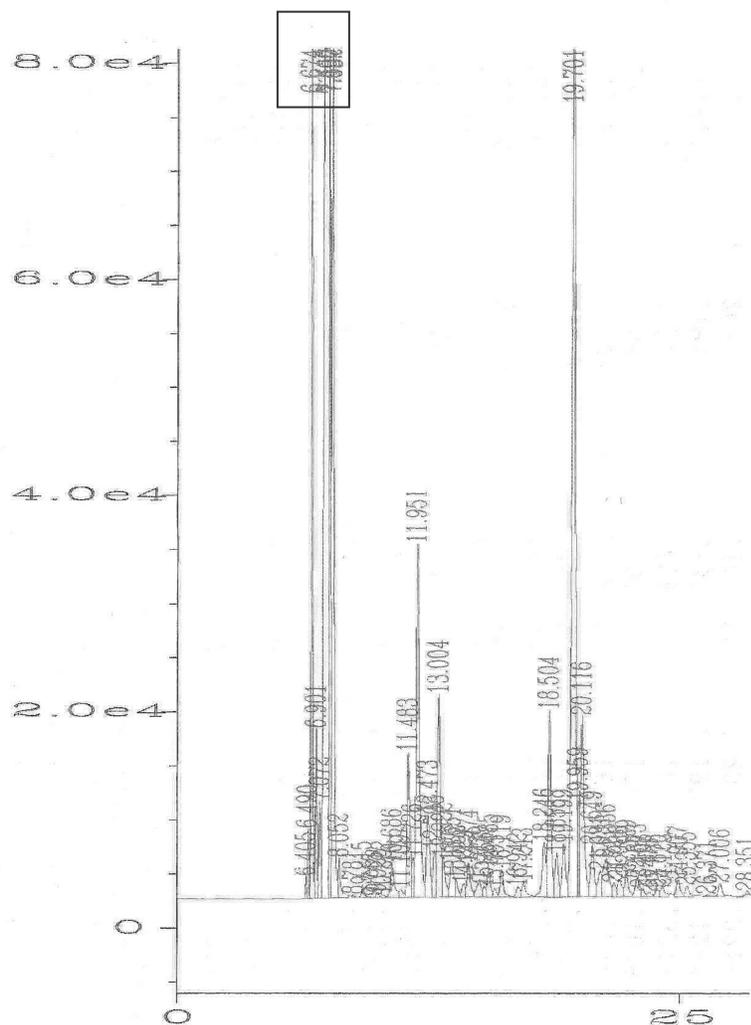
ANÁLISES CROMATOGRÁFICAS DO ÓLEO ESSENCIAL DE FOLHAS DE *EUCALYPTUS CAMALDULENSIS*



=====
 Area Percent Report
 =====

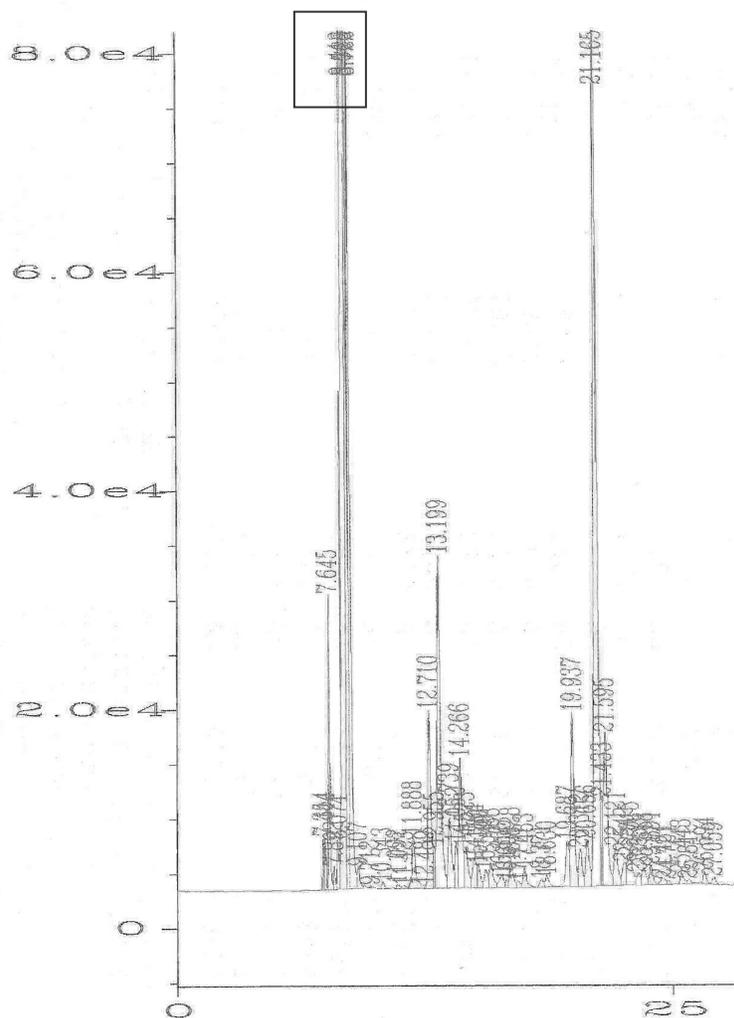
Data File Name	: C:\HPCHEM\1\DATA\NV-R1111.D	Page Number	: 1
Operator	: LQCE/LCF/ESALQ-USP	Vial Number	:
Instrument	: ANALYZER1	Injection Number	:
Sample Name	: Oleos essenciais	Sequence Line	:
Run Time Bar Code:		Instrument Method:	MC01.MTH
Acquired on	: 08 Jul 05 11:09 AM	Analysis Method	: MC01.MTH
Report Created on:	08 Jul 05 11:38 AM		
Sample Info	: Eucalyptus camaldulensis oil - Amostra 01		

Figura B1: Cromatograma do óleo essencial de *E. camaldulensis* antes da secagem em leito fixo (amostra 01).



Area Percent Report			
Data File Name	: C:\HPCHEM\1\DATA\NV-R1112.D	Page Number	: 1
Operator	: LQCE/LCF/ESALQ-USP	Vial Number	:
Instrument	: ANALYZER1	Injection Number	:
Sample Name	: Oleos essenciais	Sequence Line	:
Run Time Bar Code:		Instrument Method:	MC01.MTH
Acquired on	: 08 Jul 05 01:57 PM	Analysis Method	: MC01.MTH
Report Created on:	08 Jul 05 02:26 PM		
Sample Info	: Eucalyptus camaldulensis oil - Amostra 02		

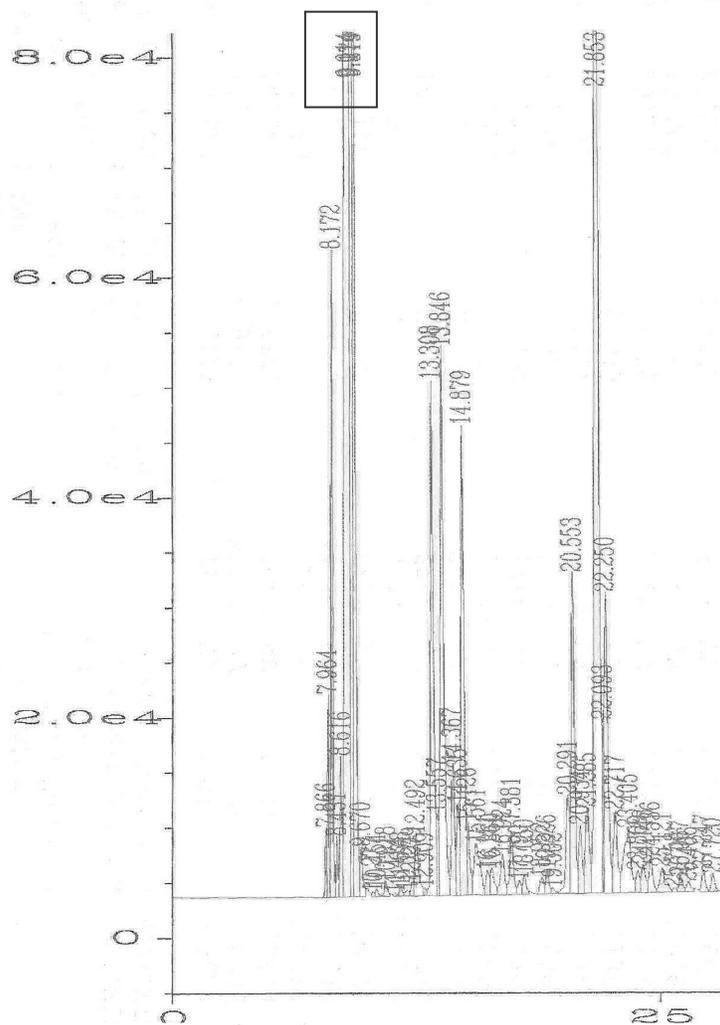
Figura B2: Cromatograma do óleo essencial de *E. camaldulensis* antes da secagem em leito fixo (amostra 02).



Area Percent Report

Data File Name	: C:\HPCHEM\1\DATA\NV-R1128.D	Page Number	: 1
Operator	: LQCE/LCF/ESALQ-USP	Vial Number	:
Instrument	: ANALYZER1	Injection Number	:
Sample Name	: Oleos essenciais	Sequence Line	:
Run Time Bar Code:		Instrument Method	: MC01.MTH
Acquired on	: 15 Jul 05 11:32 AM	Analysis Method	: MC01.MTH
Report Created on:	15 Jul 05 12:01 PM		
Sample Info	: Eucalyptus camaldulensis oil - Amostra 06		

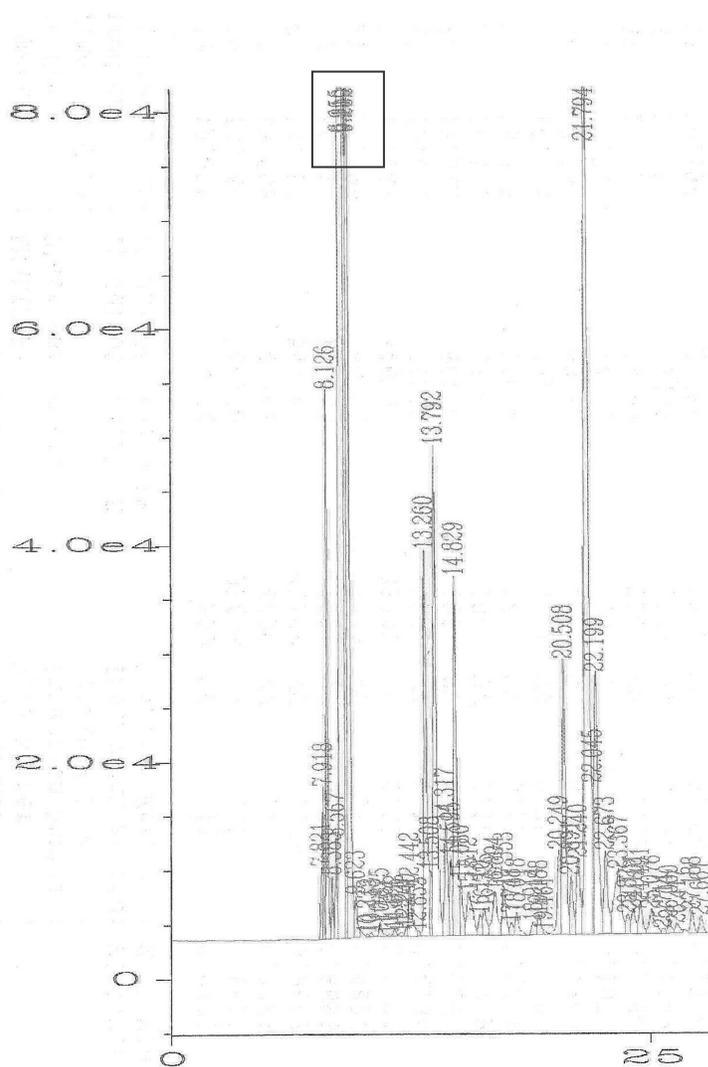
Figura B4: Cromatograma do óleo essencial de *E. camaldulensis* pós-secagem em leito fixo à 40° C (amostra 02).



Area Percent Report

Data File Name	: C:\HPCHEM\1\DATA\NV-R1129.D	Page Number	: 1
Operator	: LQCE/LCF/ESALQ-USP	Vial Number	:
Instrument	: ANALYZER1	Injection Number	:
Sample Name	: Oleos essenciais	Sequence Line	:
Run Time Bar Code:		Instrument Method:	MC01.MTH
Acquired on	: 15 Jul 05 02:05 PM	Analysis Method	: MC01.MTH
Report Created on:	15 Jul 05 02:37 PM		
Sample Info	: Eucalyptus camaldulensis oil- Amostra 07		

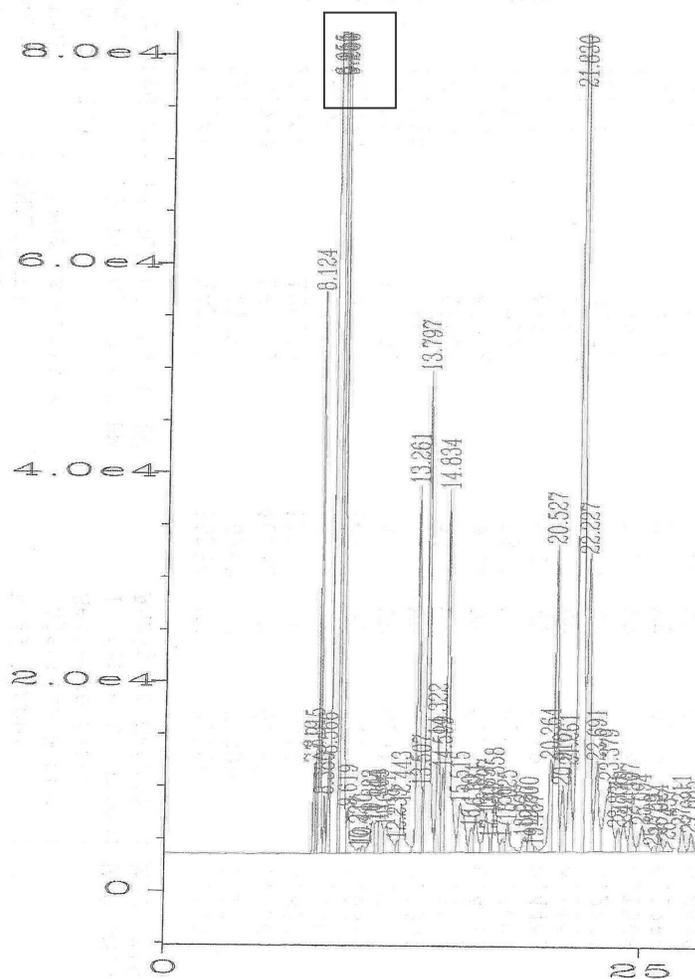
Figura B5: Cromatograma do óleo essencial de *E. camaldulensis* pós-secagem em leito fixo à 45° C (amostra 01).



Area Percent Report

Data File Name	: C:\HPCHEM\1\DATA\NV-R1131.D	Page Number	: 1
Operator	: LQCE/LCF/ESALQ-USP	Vial Number	: 1
Instrument	: ANALYZER1	Injection Number	: 1
Sample Name	: Oleos essenciais	Sequence Line	: 1
Run Time Bar Code:		Instrument Method:	MC01.MTH
Acquired on	: 15 Jul 05 03:31 PM	Analysis Method	: MC01.MTH
Report Created on:	15 Jul 05 04:00 PM		
Sample Info	: Eucalyptus camaldulensis oil - Amostra 08		

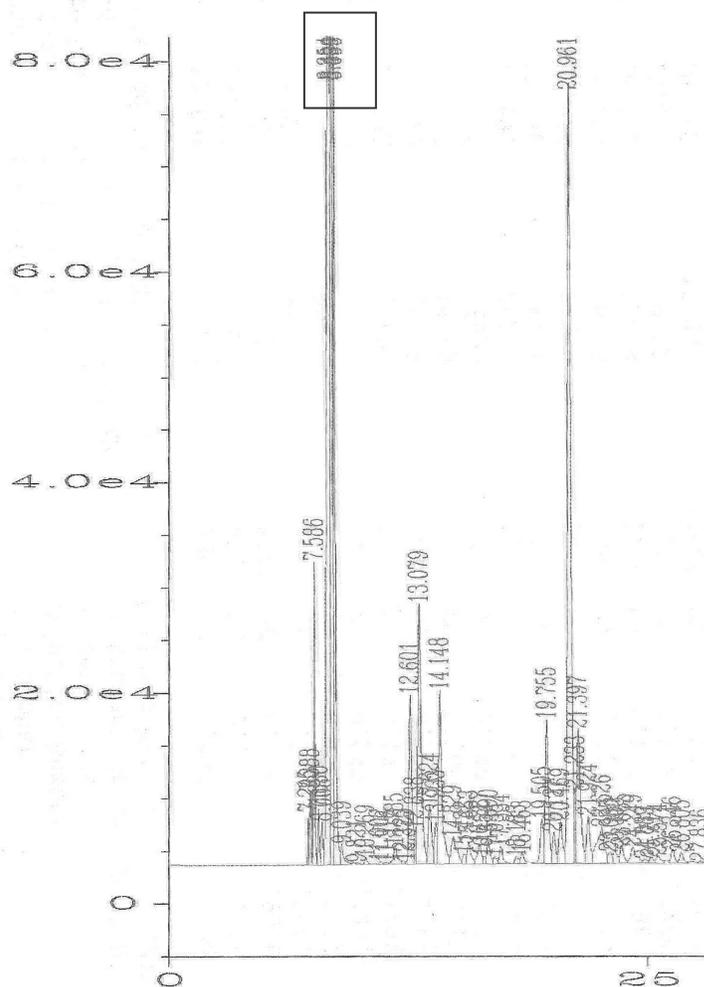
Figura B6: Cromatograma do óleo essencial de *E. camaldulensis* pós-secagem em leito fixo à 45° C (amostra 02).



Area Percent Report

Data File Name	: C:\HPCHEM\1\DATA\NV-R1132.D	Page Number	: 1
Operator	: LQCE/LCF/ESALQ-USP	Vial Number	:
Instrument	: ANALYZER1	Injection Number	:
Sample Name	: Oleos essenciais	Sequence Line	:
Run Time Bar Code:		Instrument Method:	MC01.MTH
Acquired on	: 15 Jul 05 04:07 PM	Analysis Method	: MC01.MTH
Report Created on:	15 Jul 05 04:36 PM		
Sample Info	: Eucalyptus camaldulensis oil - Amostra 09		

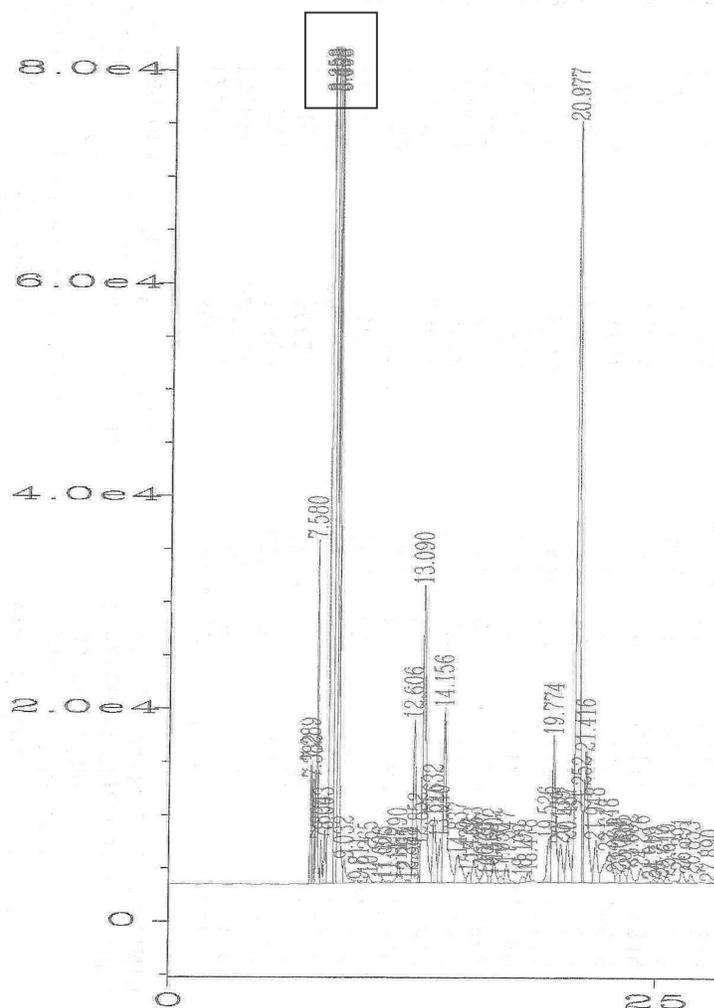
Figura B7: Cromatograma do óleo essencial de *E. camaldulensis* pós-secagem em leito fixo à 50° C (amostra 01).



Area Percent Report

Data File Name	: C:\HPCHEM\1\DATA\NV-R1135.D	Page Number	: 1
Operator	: LQCE/LCF/ESALQ-USP	Vial Number	:
Instrument	: ANALYZER1	Injection Number	:
Sample Name	: Oleos essenciais	Sequence Line	:
Run Time Bar Code:		Instrument Method:	MC01.MTH
Acquired on	: 18 Jul 05 09:33 AM	Analysis Method	: MC01.MTH
Report Created on:	18 Jul 05 10:01 AM		
Sample Info	: Eucalyptus camaldulensis oil - Amostra 10		

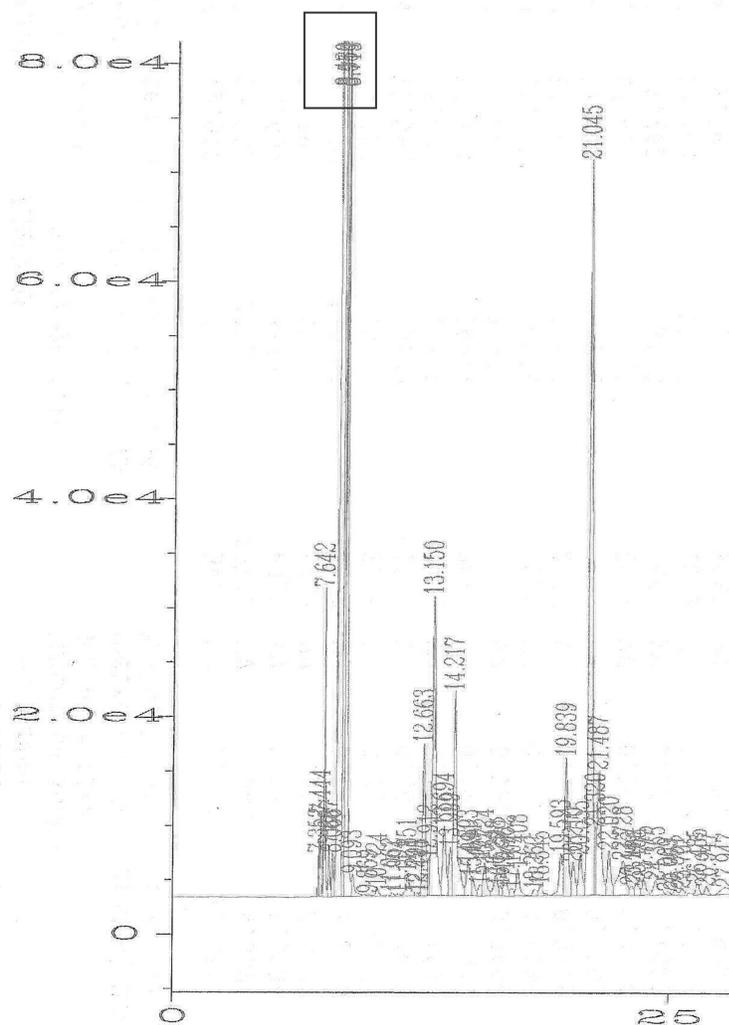
Figura B8: Cromatograma do óleo essencial de *E. camaldulensis* pós-secagem em leite fixo à 50° C (amostra 02).



Area Percent Report

Data File Name	: C:\HPCHEM\1\DATA\NV-R1136.D	Page Number	: 1
Operator	: LQCE/LCF/ESALQ-USP	Vial Number	:
Instrument	: ANALYZER1	Injection Number	:
Sample Name	: Oleos essenciais	Sequence Line	:
Run Time Bar Code:		Instrument Method:	MC01.MTH
Acquired on	: 18 Jul 05 10:07 AM	Analysis Method	: MC01.MTH
Report Created on:	18 Jul 05 10:36 AM		
Sample Info	: Eucalyptus camaldulensis oil - Amostra 11		

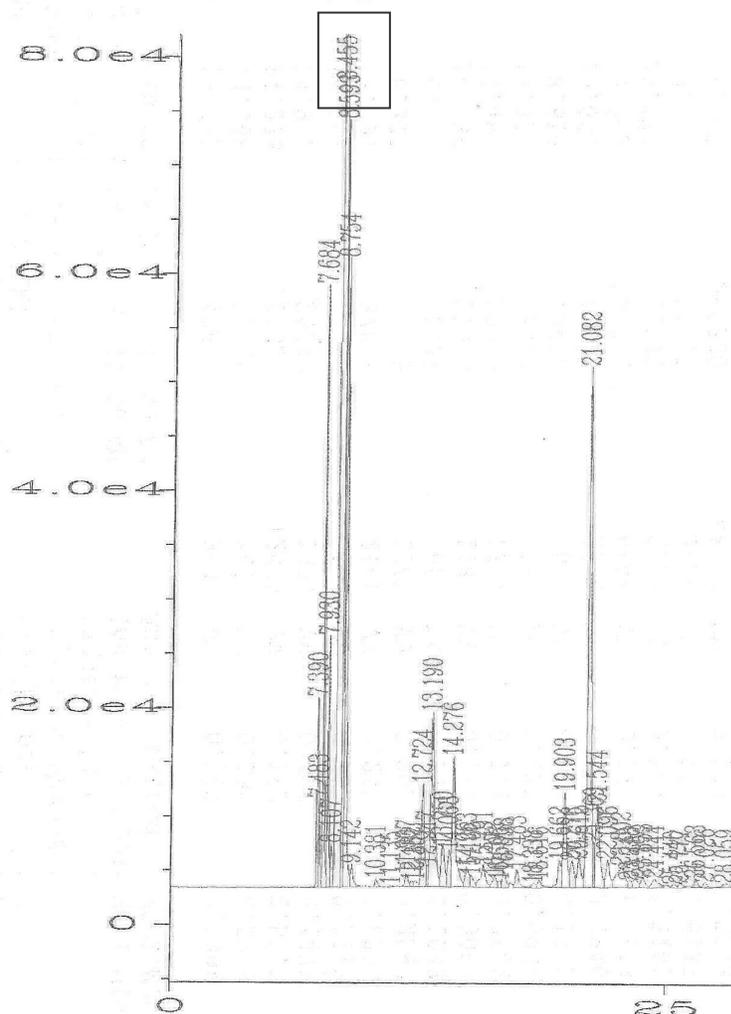
Figura B9: Cromatograma do óleo essencial de *E. camaldulensis* pós-secagem em leito fixo à 55° C (amostra 01).



Area Percent Report

Data File Name	: C:\HPCHEM\1\DATA\NV-R1137.D	Page Number	: 1
Operator	: LQCE/LCF/ESALQ-USP	Vial Number	:
Instrument	: ANALYZER1	Injection Number	:
Sample Name	: Oleos essenciais	Sequence Line	:
Run Time Bar Code:		Instrument Method:	MC01.MTH
Acquired on	: 18 Jul 05 10:52 AM	Analysis Method	: MC01.MTH
Report Created on:	18 Jul 05 11:21 AM		
Sample Info	: Eucalyptus camaldulensis oil - Amostra 12		

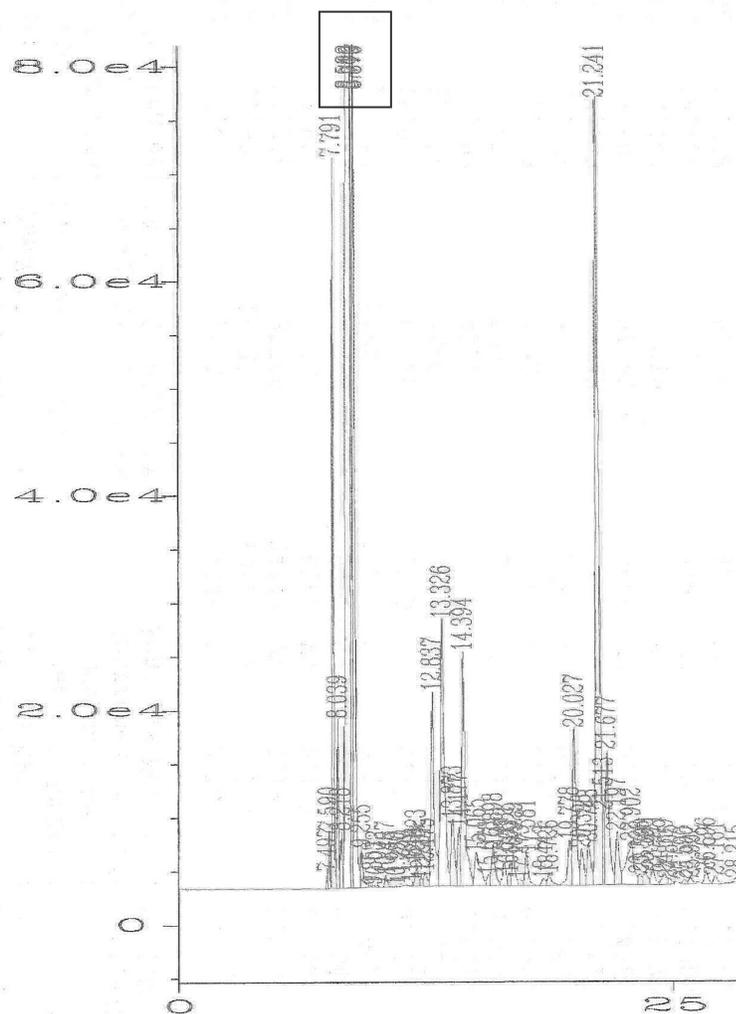
Figura B10: Cromatograma do óleo essencial de *E. camaldulensis* pós-secagem em leito fixo à 55° C (amostra 02).



Area Percent Report

Data File Name	: C:\HPCHEM\1\DATA\NV-R1138.D	Page Number	: 1
Operator	: LQCE/LCF/ESALQ-USP	Vial Number	:
Instrument	: ANALYZER1	Injection Number	:
Sample Name	: Oleos essenciais	Sequence Line	:
Run Time Bar Code:		Instrument Method:	MC01.MTH
Acquired on	: 18 Jul 05 11:26 AM	Analysis Method	: MC01.MTH
Report Created on:	18 Jul 05 11:55 AM		
Sample Info	: Eucalyptus camaldulensis oil - Amostra 13		

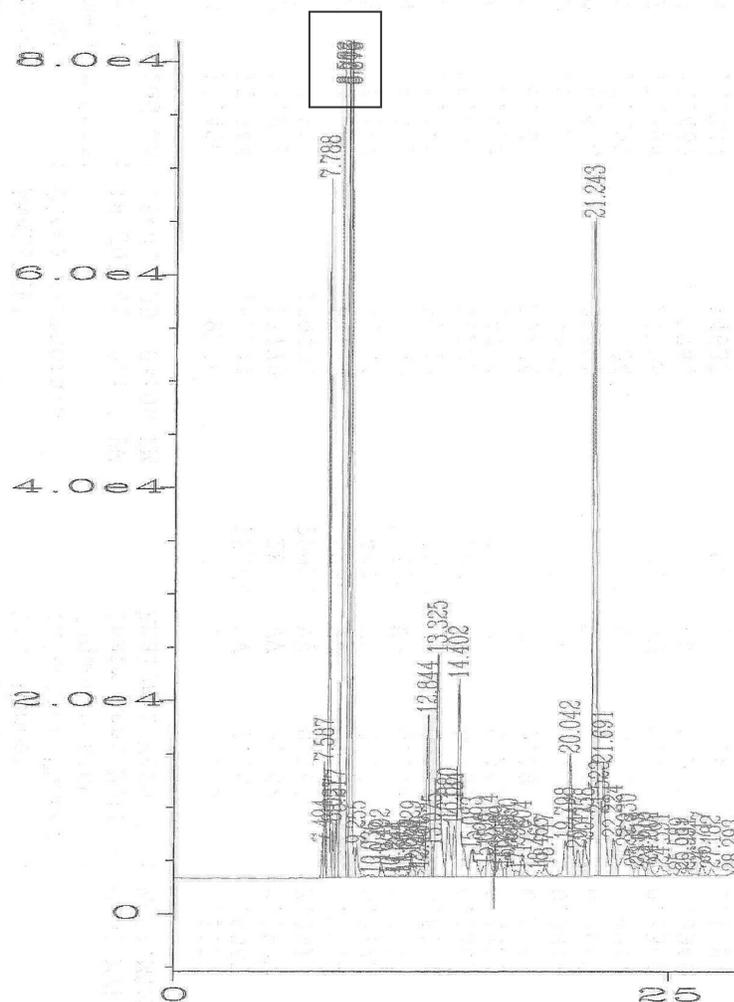
Figura B11: Cromatograma do óleo essencial de *E. camaldulensis* pós-secagem em leito fixo à 60° C (amostra 01).



Area Percent Report

Data File Name	: C:\HPCHEM\1\DATA\NV-R1139.D	Page Number	: 1
Operator	: LQCE/LCF/ESALQ-USP	Vial Number	:
Instrument	: ANALYZER1	Injection Number	:
Sample Name	: Oleos essenciais	Sequence Line	:
Run Time Bar Code:		Instrument Method:	MC01.MTH
Acquired on	: 18 Jul 05 01:59 PM	Analysis Method	: MC01.MTH
Report Created on:	18 Jul 05 02:27 PM		
Sample Info	: Eucalyptus camaldulensis oil - Amostra 14		

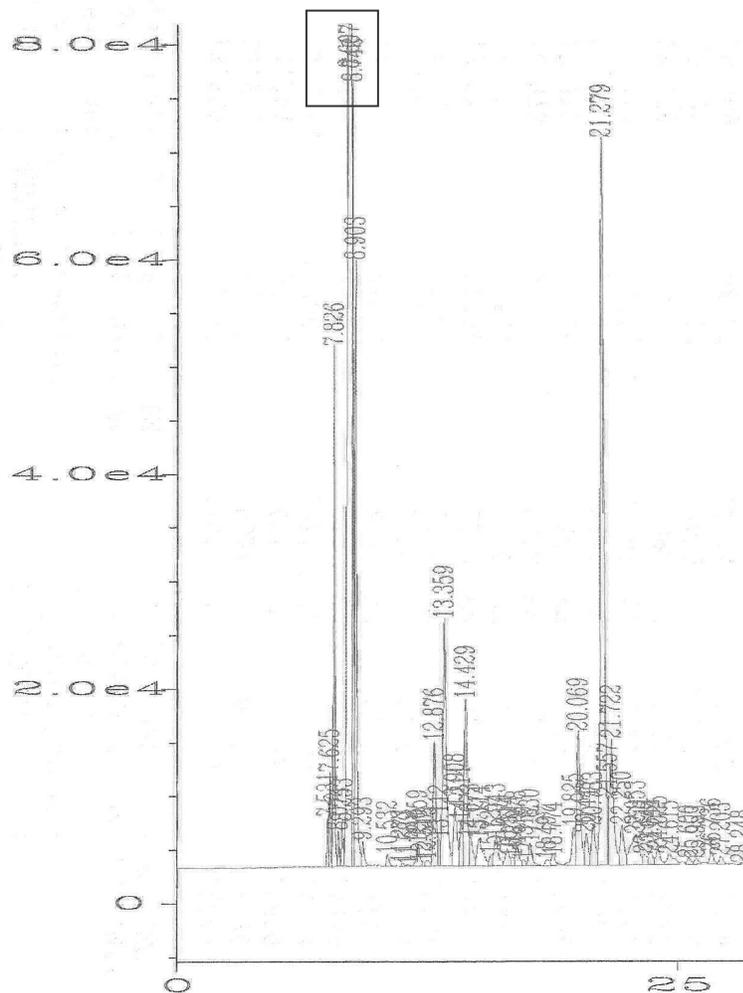
Figura B12: Cromatograma do óleo essencial de *E. camaldulensis* pós-secagem em leito fixo à 60° C (amostra 02).



Area Percent Report

Data File Name	: C:\HPCHEM\1\DATA\NV-R1140.D	Page Number	: 1
Operator	: LQCE/LCF/ESALQ-USP	Vial Number	: 1
Instrument	: ANALYZER1	Injection Number	: 1
Sample Name	: Oleos essenciais	Sequence Line	: 1
Run Time Bar Code:		Instrument Method	: MC01.MTH
Acquired on	: 18 Jul 05 02:37 PM	Analysis Method	: MC01.MTH
Report Created on:	18 Jul 05 03:06 PM		
Sample Info	: Eucalyptus camaldulensis oil - Amostra 15		

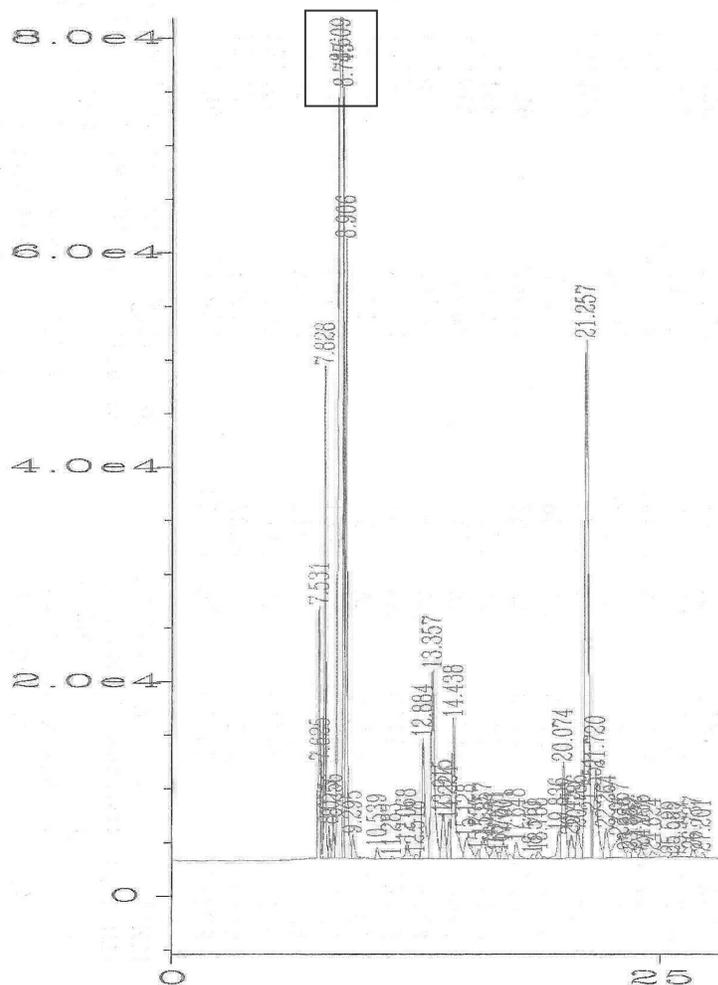
Figura B13: Cromatograma do óleo essencial de *E. camaldulensis* pós-secagem em leito fixo à 65° C (amostra 01).



Area Percent Report

Data File Name	: C:\HPCHEM\1\DATA\NV-R1141.D	Page Number	: 1
Operator	: LQCE/LCF/ESALQ-USP	Vial Number	:
Instrument	: ANALYZER1	Injection Number	:
Sample Name	: Oleos essenciais	Sequence Line	:
Run Time Bar Code:		Instrument Method	: MC01.MTH
Acquired on	: 18 Jul 05 03:25 PM	Analysis Method	: MC01.MTH
Report Created on:	18 Jul 05 03:54 PM		
Sample Info	: Eucalyptus camaldulensis oil - Amostra 16		

Figura B14: Cromatograma do óleo essencial de *E. camaldulensis* pós-secagem em leito fixo à 65° C (amostra 02).



=====
 Area Percent Report
 =====

Data File Name	: C:\HPCHEM\1\DATA\NV-R1142.D	Page Number	: 1
Operator	: LQCE/LCF/ESALQ-USP	Vial Number	:
Instrument	: ANALYZER1	Injection Number	:
Sample Name	: Oleos essenciais	Sequence Line	:
Run Time Bar Code:		Instrument Method:	MC01.MTH
Acquired on	: 18 Jul 05 03:59 PM	Analysis Method	: MC01.MTH
Report Created on:	18 Jul 05 04:28 PM		
Sample Info	: Eucalyptus camaldulensis oil - Amostra 17		

Figura B15: Cromatograma do óleo essencial de *E. camaldulensis* pós-secagem em leito fixo à 70° C (amostra 01).