

**Secagem da Biomassa Aérea de
Pimenta Longa sob Condições de
Laboratório e de Campo**





*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Oriental
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

ISSN 1676-5265

Dezembro, 2004

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 32

Secagem da Biomassa Aérea de Pimenta Longa sob Condições de Laboratório e de Campo

Francisco José Câmara Figueirêdo
Alberdan Silva Santos
Olinto Gomes da Rocha Neto
Sérgio de Mello Alves

Belém, PA
2004

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Amazônia Oriental

Trav. Dr. Enéas Pinheiro, s/n
Caixa Postal, 48 CEP: 66095-100 - Belém, PA
Fone: (91) 3204-1000
Fax: (91) 3276-9845
E-mail: sac@cpatu.embrapa.br

Comitê de Publicações

Presidente: Joaquim Ivanir Gomes
Membros: Gladys Ferreira de Souza
 João Tomé de Farias neto
 José de Brito Lourenço Júnior
 Kelly de Oliveira Cohen
 Moacyr Bernardino Dias Filho

Revisores Técnicos:

José Tadeu de Souza Monteiro - Embrapa Acre
Kelly de Oliveira Cohen - Embrapa Amazônia Oriental
Maria das Graças Bichara Zoghby - Museu Paraense Emílio Goeldi

Supervisor editorial: Guilherme Leopoldo da Costa Fernandes
Revisor de texto: Regina Alves Rodrigues
Normalização bibliográfica: Sílvio Leopoldo Lima Costa
Editoração eletrônica: Francisco José Farias Pereira

1ª edição

1ª impressão (2004): 300 tiragem

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Secagem da biomassa aérea de pimenta longa sob condições de laboratório e de campo / Francisco José Câmara Figueirêdo [et al.]. - Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2004.

45p.; 21 cm. - (Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 32).

ISSN 1676 -5265

1. Pimenta longa - Secagem da biomassa. 2. Secador solar - Avaliação.
3. Extração de óleo essencial. 4. Teor de safrol. I. Figueirêdo, Francisco José Câmara. II. Série.

CDD - 633.82

© Embrapa 2004

Sumário

Secagem da Biomassa Aérea de Pimenta Longa sob Condições de Laboratório e de Campo	5
Resumo	5
Abstract	6
Introdução	7
Material e Métodos	8
Resultados e Discussão	11
Conclusões	43
Referências Bibliográficas	44

Secagem da Biomassa Aérea de Pimenta Longa sob Condições de Laboratório e de Campo

Francisco José Câmara Figueirêdo¹

Alberdan Silva Santos²

Olinto Gomes da Rocha Neto¹

Sérgio de Mello Alves³

Resumo

Neste trabalho, descrevem-se os resultados de estudos de secagem da biomassa aérea de pimenta longa (*Piper hispidinervium* C. DC.), obtidos em laboratório e em campo. As variáveis de respostas foram o teor da umidade da biomassa, o rendimento de extração de óleo essencial e a quantificação de safrol. O melhor método de secagem da biomassa de pimenta longa, em laboratório, é à sombra, com ventilação forçada, pelo período de 4 a 11 dias. No campo, o secador solar com cobertura de plástico transparente é o mais eficiente na secagem da biomassa, com tempo entre 4 e 7 dias.

Termos para indexação: *Piper hispidinervium*, teor de umidade, óleo essencial, safrol, secador solar.

¹Eng. Agrôn., D. Sc., Pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, Cx.Postal 48, CEP:66.017-970, Belém-PA, e-mail: fjcf@cpatu.embrapa.br

²Eng. Quím., D. Sc., Professor do Departamento de Engenharia Química, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 01, Guamá, CEP 66.075-900, Belém-PA, e-mail: alberdan@ufpa.br

³Quím. Ind., M. Sc., Pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, Cx.Postal 48, CEP:66.017-970, Belém-PA, e-mail: sergio@cpatu.embrapa.br

Drying Aerial Biomass of *Piper Hispidinervium* under Laboratory and Field Conditions

Abstract

In this work it is described the results from studies about drying aerial biomass of *Piper hispidinervium* in laboratory and field conditions. The response variables were the moisture of aerial biomass, the rate of extraction of essential oil and the safrole quantification. The best method of drying aerial biomass in laboratory is accomplished in shadow with unnatural air and drying time from 4 to 11 days. In field conditions, the solar dryer covered with transparent plastic is the most efficient for drying the biomass, and the drying time should be between 4 and 7 days.

Index terms: Biomass moisture, essential oil, safrole, solar dryer.

Introdução

A pimenta longa (*Piper hispidinervium* C. DC.) é uma planta aromática da família Piperaceae e tem como local de origem o Estado do Acre (Maia et al. 1987; Alencar et al. 1971).

O óleo essencial extraído das partes aéreas da pimenta longa é rico em safrol, matéria-prima para a produção do butóxido de piperonila, usado como produto sinérgico de inseticidas naturais, e da heliotropina, empregada como fixadora de fragrâncias pelas indústrias de perfumes e de cosméticos, respectivamente (Maia et. al. 1987; Maia & Silva, 1995).

O safrol é um fenil-éter volátil e quando na sua forma pura, à temperatura ambiente, é um líquido viscoso de aroma conforáceo (Alencar et al. 1971) que, segundo os resultados obtidos por Silva (1993), pode corresponder a até 94% do total de óleo essencial.

Na biomassa de pimenta longa, a maior concentração de óleo essencial é encontrada nas folhas ($\pm 98\%$), seguidas de ramos secundários e frutos (Pimentel & Miranda, 2001a). Por outro lado, essas partes da planta apresentam porcentagens de umidade que variam de 50% a 70%, e na destilação, há a formação de uma emulsão (óleo + água), cujos componentes são separados em condensadores.

Esse fato recomenda a exposição da biomassa de pimenta longa a procedimentos de secagem, pois na extração de óleo essencial de matéria fresca, o teor de safrol é inferior a 90%, percentual mínimo exigido pelos mercados nacional e internacional (Pimentel & Miranda, 2001a).

A secagem da biomassa de pimenta longa é, provavelmente, a mais importante etapa do pós-corte para a produção de óleo essencial, notadamente quando o processo tem como base o aproveitamento de energias solar e eólica. Assim sendo, no procedimento de secagem, o sol é a fonte de calor e o deslocamento ou movimentação do ar, provocado por ventilação forçada ou natural, proporcionando a remoção de vapor d'água da superfície da biomassa para o ambiente.

Esse processo de secagem, em termos práticos, é o mais adequado à agricultura de porte familiar e, por ser dependente das condições climáticas, requer a movimentação da massa verde até que a umidade retida alcance baixos índices, de maneira a não apresentar riscos de fermentação da biomassa, cujo efeito é prejudicial ao rendimento de extração e à qualidade do óleo essencial.

O objetivo deste trabalho foi o de avaliar procedimentos de secagem e a eficiência de secadores solares na desidratação da biomassa aérea de pimenta longa, visando aos aumentos de rendimento de extração de óleo essencial e de teor de safrol, em escalas de laboratório e de campo.

Material e Métodos

Este estudo constou de ensaios em que foram testados métodos de secagem da biomassa aérea de pimenta longa, para fins de determinações em laboratório, e a eficiência de secadores solares rústicos.

As principais variáveis de respostas à aplicação dos tratamentos foram o teor de umidade da biomassa, o rendimento de extração de óleo essencial e o teor de safrol.

No ensaio de testes de procedimentos de secagem, com vistas às determinações em laboratório, a biomassa foi desidratada à sombra, sem e com ventilação forçada, e em estufa, com circulação de ar a 30 °C e 40 °C. Os tempos de secagem considerados foram de 0, 4, 6 e 11 dias e os tratamentos distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, com 5 repetições. Esse ensaio foi conduzido no Laboratório de Agroindústria da Embrapa Amazônia Oriental e a biomassa obtida de quadras de observações de pimenta longa, na base física desse centro de pesquisa em Belém, PA.

O ensaio de avaliação de secadores solares foi conduzido na Vila de São Jorge do Jabuti, Município de Igarapé-Açu, PA, com a biomassa obtida de plantas com 10 meses de cultivo. As determinações de teor de umidade e de rendimento de extração de óleo essencial foram executadas no Laboratório da Associação Comunitária Rural (Acorda Jabuti) daquela vila e a quantificação de teor de safrol foi realizada no Laboratório de Agroindústria da Embrapa Amazônia Oriental.

Na 1ª etapa do estudo de secagem em secadores solares, realizada em agosto de 1999, foram testados os secadores cobertos com palhas de palmeiras, plástico preto (com circulação de ar restrita aos momentos de amostragem da biomassa) e plástico transparente. Esses secadores foram edificados em madeira, com o estrado a 60 cm do solo e, a partir deste, com pé-direito de 1,0 m (laterais) e 1,50 m (cumeeira).

Nessa etapa, não houve repetição estatística e as amostragens, para a avaliação da eficiência dos tipos de secadores, foram realizadas entre o 1º e 10º dias. A biomassa, constituída de folhas, ramos secundários finos e infrutescências, foi distribuída, uniformemente, sobre o estrado até a altura máxima de 30 cm, com reviramento às 9h (momento da amostragem) e 15h, como medida preventiva à fermentação da biomassa.

Na 2ª etapa deste estudo, conduzida de 6 a 16 de julho de 2000, utilizaram-se os mesmos secadores e tempos de secagem e considerou-se, como controle, a amostragem da biomassa realizada no tempo zero (início da secagem).

No secador coberto com plástico preto, a livre circulação do ar também ocorreu quando das leituras psicrométricas, das avaliações das características físicas da biomassa e das coletas de amostras para as análises em laboratório. As amostragens da biomassa foram realizadas às 6h e 12h, sendo cada amostra fracionada em 2 subamostras para as tomadas de dados de avaliação de tratamentos, distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, com 2 repetições.

No decorrer deste ensaio, às 6, 9, 12, 15 e 18 horas, foi monitorada a umidade relativa do ar no ambiente interno dos secadores, para tanto, foi utilizado um psicrômetro de ventilação forçada, marca Sibata. Nessas ocasiões, foram feitas anotações, de caráter visual, das condições do tempo (céu limpo com poucas nuvens, mas sem sol; céu parcialmente nublado; céu nublado; sol aberto; sol ligeiramente encoberto; choveu antes; chuva forte e chuva fina). Antes das amostragens, foram avaliadas, manualmente, as características físicas da biomassa em procedimento de secagem (biomassa úmida; biomassa fria; biomassa seca; biomassa seca e quebradiça).

No estudo conduzido em laboratório, a determinação do teor de umidade foi realizada com base na redução do teor de água na biomassa, a partir do peso úmido inicial da amostra, sem levar em consideração a temperatura de secagem, de acordo com a equação:

$$U = \frac{100 - (100 \cdot (P - p))}{P},$$

adaptada do que prescreve as regras para análises de sementes (Brasil, 1992), onde:

U = teor de umidade (%); P = peso bruto ou peso inicial da amostra e p = peso final da amostra.

Nos outros ensaios, a determinação do teor de umidade foi realizada por destilação azeotrópica, com tolueno, utilizando coletor de vidro do tipo Dean & Stark, cujo funcionamento é baseado no princípio da imiscibilidade do solvente. Para tanto, foi levado em consideração o método descrito na OMS (1998), adaptado para testes com biomassa de pimenta longa por Santos et al. (2004). O cálculo do teor de umidade (U%) foi feito com o emprego da equação:

$$U\% = \frac{V_a}{P_a} \cdot 100,$$

onde: V_a = volume de água extraído da biomassa (mL), lido na escala volumétrica do Dean & Stark; P_a = peso da amostra de biomassa (10 g) e 100 = fator de conversão para porcentagem.

Na extração do óleo essencial da biomassa aérea de pimenta longa, foi considerado o método descrito por Santos et al. (2004). O rendimento do óleo essencial foi calculado, em base livre de umidade, pela equação:

$$TO = \frac{V_o}{B_m - \left(\frac{B_m \cdot U}{100} \right)}$$

onde: V_o = volume de óleo (mL) lido na escala do coletor; B_m = biomassa vegetal (folhas e ramos finos) em gramas; $(b_m \cdot u)/100$ = quantidade de umidade ou água presente na biomassa e 100 = fator de conversão para porcentagem.

O óleo essencial obtido foi analisado em cromatógrafo a gás, marca Shimadzu, modelo GC-14A, equipado com detector de ionização de chama e coluna capilar de sílica fundida não-polar, CBP1 de 25 m de comprimento e 0,25 mm de diâmetro interno. Foi utilizado o Hélio como gás de arraste, enquanto o injetor interno e o detector foram mantidos à temperatura de 240 °C e “split” de aproximadamente 1:100. A temperatura inicial do forno foi mantida, por 10 minutos, a 170 °C e, posteriormente, programada para o máximo de 220 °C, com incremento de 5 °C por minuto. Utilizou-se o integrador Shimadzu, modelo C-R5A, Chromatopac, para a quantificação de safrol pelo método de normalização de área.

Os resultados foram submetidos à análise da variância (Anova), sendo utilizados delineamentos de esquema fatorial 4 x 4, para procedimentos e dias de secagem em laboratório e 3 x 11, para o estudo de eficiência de secadores solares (2ª etapa); e inteiramente casualizado no ensaio de teste de secadores solares (1ª etapa). Com vistas à homogeneização da variância, os valores expressos em porcentagens foram transformados em valores do arco seno ($y = \sqrt{\text{valor em \%} / 10}$) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), para tanto, foi utilizado o programa Estat (1994). Os resultados correspondentes às variáveis dependentes (dias e horas de secagem) foram submetidos à análise de regressão e a magnitude da associação entre duas variáveis foi realizada pelo teste de correlação (Ayres et al. 2003).

Resultados e Discussão

- Métodos de secagem da biomassa aérea de pimenta longa para determinações em laboratório

A Anova permite inferir que só não houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) na interação método x tempo de secagem para os parâmetros teor de umidade da biomassa e rendimento de extração de óleo essencial.

Na Fig. 1, representam-se as reduções médias de peso das amostras da biomassa de pimenta longa, pela perda de umidade, após ser submetida a métodos de secagem à sombra (sem e com ventilação forçada) e em estufa com circulação de ar (30°C e 40 °C).

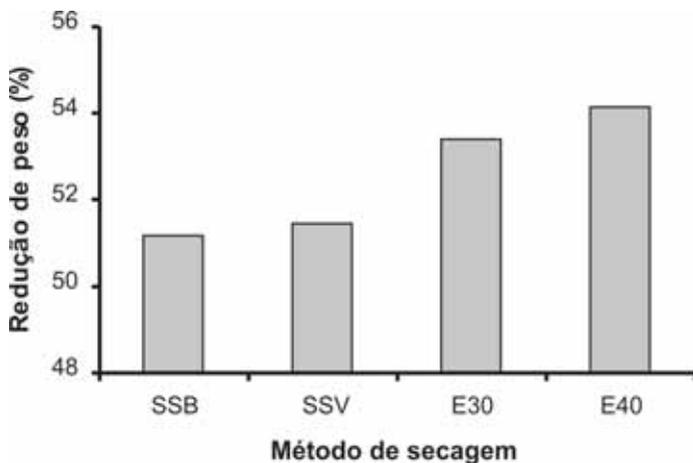


Fig. 1. Redução média de peso da biomassa aérea de pimenta longa submetida a métodos de secagem à sombra sem (SSB) e com ventilação forçada (SSV), e em estufas com circulação de ar a 30 °C (E30) e a 40°C (E40). (n = 5).

Pôde-se perceber que as temperaturas constantes, proporcionadas pelas estufas com circulação de ar, foram mais efetivas na remoção de água da biomassa do que as alternativas de secagem à sombra, que apresentou melhor desempenho quando sob ventilação forçada. Pimentel & Miranda (2001a), quando secaram biomassa de pimenta longa à sombra, obtiveram reduções de teor de umidade de cerca de 25%, ao final de 8 dias, porcentagem menor que a observada neste estudo, que ultrapassou 50%, tanto sem ou com ventilação forçada. As condições deste estudo possibilitaram maior controle na aplicação dos métodos de secagem, ocasionado, provavelmente, pelo tamanho das amostras trabalhadas.

Os teores médios de umidade da biomassa de pimenta longa, exposta a secagens à sombra sem e com ventilação forçada, e em estufas com circulação de ar a 30°C e a 40 °C, estão representados na Fig. 2.

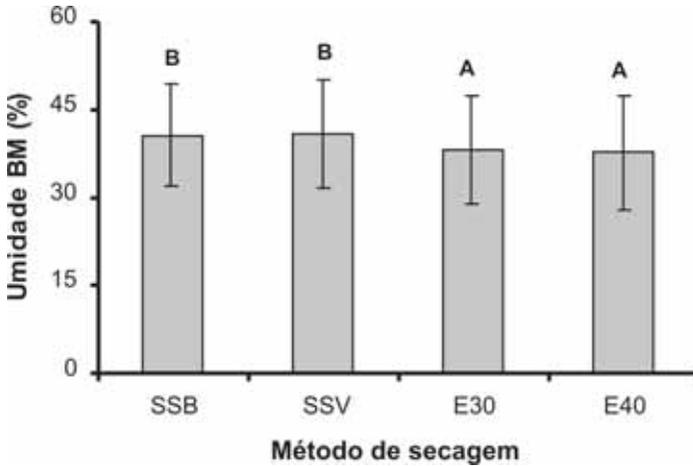


Fig. 2. Teor médio de umidade da biomassa aérea (BM) da pimenta longa, submetida a métodos de secagem à sombra sem (SSB), e com ventilação forçada (SSV), e em estufas com circulação de ar a 30°C (E30) e a 40°C (E40). (Nas colunas gráficas, as letras iguais indicam que não houve diferença significativa entre as médias, Tukey, $p \leq 0,05$; I = erro padrão da média; n = 5).

A diferença de 10 °C entre as temperaturas constantes das estufas não foi suficiente para estabelecer, ao final do tempo de secagem, significâncias estatísticas entre os teores de umidade da biomassa de pimenta longa, mas houve diferenças significativas entre os procedimentos de secagem à sombra. Os resultados finais de teor de umidade variaram em função da maior ou menor perda de água da biomassa, com a amplitude média de apenas 3,2%, mas suficiente para definir estratos de significância entre os métodos de secagem testados em laboratório.

Na Fig. 3, representam-se as médias de teor de umidade da biomassa de pimenta longa, observadas ao longo do tempo de desidratação, com a aplicação de métodos de secagem em laboratório.

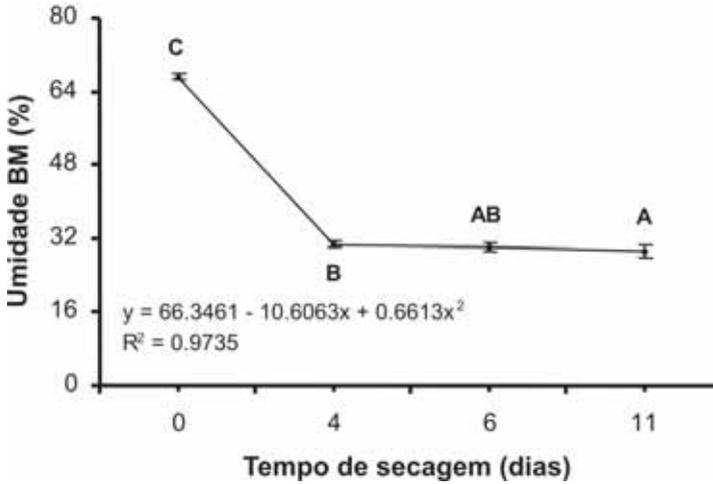


Fig. 3. Teor médio de umidade da biomassa aérea (BM) da pimenta longa, submetida a diferentes tempos e métodos de secagem em laboratório. (Nos pontos da curva, as mesmas letras indicam que não houve diferença significativa entre as médias, Tukey, $p \leq 0,05$; I = erro padrão da média; $n = 5$).

Os efeitos do tempo de secagem, na redução do teor de umidade da biomassa de pimenta longa, proporcionaram reduções de até 56,5% e possibilitaram, apesar da maior diferença entre os tempos efetivos de secagem terem sido de apenas 1,5%, inferir ser desnecessário prorrogar a secagem até 11 dias, pois o teor de umidade não diferiu, estatisticamente, de 6 dias.

A análise de regressão foi altamente significativa e a curva seria mais bem ajustada por equação polinomial quadrática. O efeito linear da equação expressa que a umidade da biomassa de pimenta longa decresce com o período de secagem e a maior redução ocorreria no 8º dia, mas voltaria a crescer na busca do equilíbrio higroscópico com o ambiente de secagem. Pimentel & Miranda (2001a) observaram efeito linear positivo para a perda de umidade da pimenta longa, o que equivale a afirmar que o teor de umidade diminuiu com o tempo de secagem.

Na Fig. 4, estão representados os efeitos do tempo de secagem, sobre a redução média de teor de umidade da biomassa de pimenta longa, quando da aplicação de métodos de desidratação em laboratório.

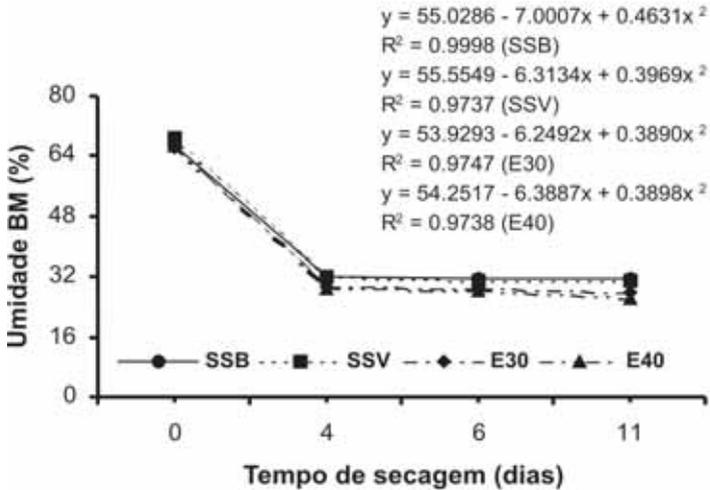


Fig. 4. Teor médio de umidade da biomassa aérea (BM) de pimenta longa, submetida a métodos de secagem à sombra, sem (SSB) e com ventilação forçada (SSV), e em estufa com circulação de ar, a 30 °C (E30) e 40 °C (E40), por diferentes tempos de secagem em laboratório (n = 5).

Quando foram considerados os fatores representados pelos métodos e tempos de secagem, observou-se que a partir do 4º dia de secagem, houve a tendência da umidade ser ligeiramente menor na biomassa desidratada em estufa a 40 °C.

Os dados correspondentes a cada método de secagem, ao serem avaliados em função do tempo de desidratação, acusaram diferenças significativas e as curvas de regressão poderiam ser ajustadas por equação polinomial quadrática. Os pontos das curvas com menor teor de umidade da biomassa ocorreriam aos 7,6 dias (secagem à sombra), 8 dias (secagens à sombra com ventilação forçada e em estufa a 30 °C) e 8,2 dias (secagem em estufa a 40 °C).

Na Fig. 5, representam-se as médias de rendimento de extração de óleo essencial da biomassa de pimenta longa submetidas a métodos de secagem à sombra e em estufa com circulação de ar.

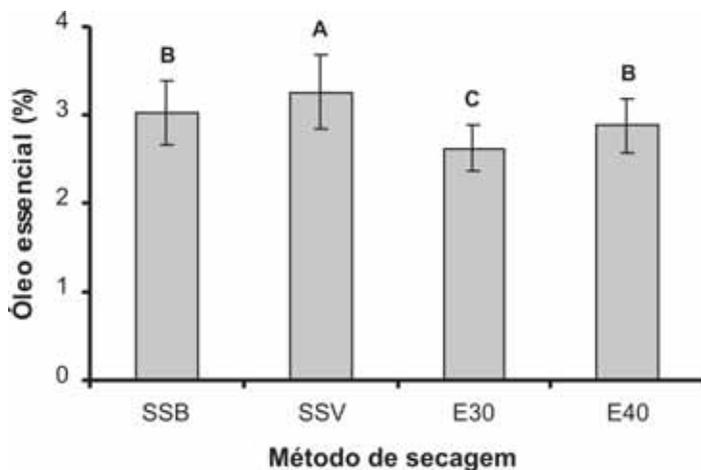


Fig. 5. Rendimento médio de óleo essencial extraído da biomassa aérea de pimenta longa, submetida a métodos de secagem à sombra, sem (SSB) e com ventilação forçada (SSV), e em estufas com circulação de ar, 30 °C (E30) e a 40°C (E40). (Nas colunas gráficas, as mesmas letras indicam que não houve diferença significativa entre as médias, Tukey, $p \leq 0,05$; I = erro padrão da média; $n = 5$).

A biomassa de pimenta longa desidratada à sombra, sob ventilação forçada, foi estatisticamente superior aos outros métodos de secagem, quando avaliada pelo rendimento de extração de óleo essencial. O ambiente de sala de laboratório, onde há certa restrição à circulação de ar, se comparado às áreas abertas, pode ter contribuído para a ocorrência, em nível variado, de fermentação da biomassa desidratada à sombra em comparação àquela com ventilação.

A secagem em estufa a 30 °C também prejudicou a biomassa, que apresentou o menor desempenho na extração de óleo essencial. Nessa etapa do estudo, os rendimentos de extração de óleo superaram aqueles divulgados pelo Centro de Informação de Pimenta Longa⁴, que variam de 2,0% a 2,5%, mas foram inferiores aos de Santos et al. (2004), que obtiveram rendimentos de 4,1% a 6,7%, em base livre de umidade, e de 3,3% a 4,7%, em base úmida.

⁴ <http://www.cpfac.embrapa.br/pimentalonga/mercados.htm> Mercados, Consulta de 08/01/2004.

Os resultados médios de rendimento de extração de óleo essencial da biomassa de pimenta longa, desidratada em laboratório por diversos períodos de tempo, estão representados na Fig. 6.

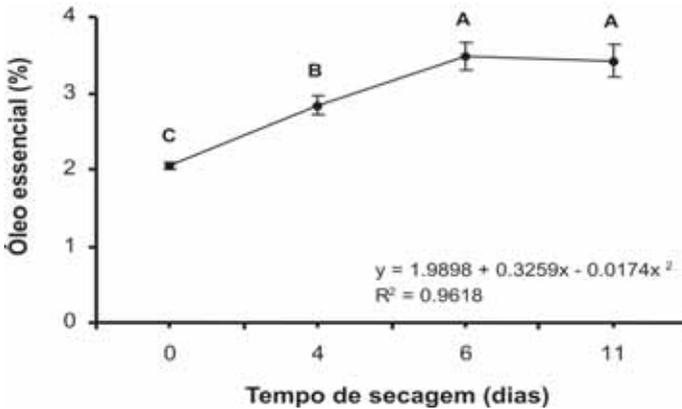


Fig. 6. Rendimento médio de óleo essencial extraído da biomassa aérea de pimenta longa, submetida a diferentes tempos e métodos de secagem em laboratório. (Nos pontos da curva, as mesmas letras indicam que não houve diferença significativa entre as médias, Tukey, $p \leq 0,05$; I = erro padrão da média; $n = 5$).

Quanto ao rendimento de óleo essencial, as secagens por 6 e 11 dias diferiram estatisticamente dos tempos de 0 e 4 dias, com estes diferindo entre si. Pôde-se observar que o rendimento de óleo aumentou com o tempo de secagem até o limite máximo de 6 dias, com ligeira redução aos 11 dias. Considerando o rendimento médio de 0 dia como controle, a evolução do aumento de rendimento alcançou aproximadamente 75% e 70%, no 6° e 11° dias, respectivamente. Pimentel & Miranda (2001a) obtiveram rendimento de extração máximo de 3,51% (8 dias de secagem), resultado que se equivale aos alcançados neste trabalho, no 6° e 11° dias.

A curva de regressão teria melhor ajuste por equação polinomial quadrática e o máximo de rendimento de extração de óleo essencial seria alcançado aos 9,4 dias de secagem da biomassa de pimenta longa.

Na Fig. 7, estão representados os rendimentos de óleo essencial, extraídos da biomassa de pimenta longa submetida aos métodos de secagem, à sombra e em estufa com circulação de ar, durante os diversos tempos de exposições testados.

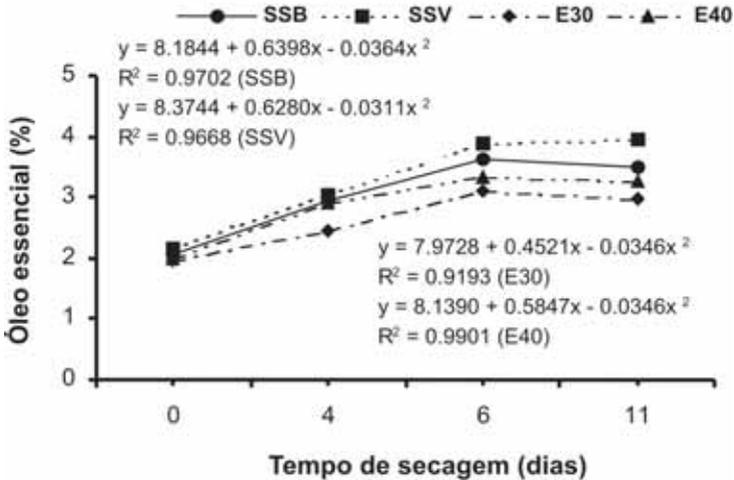


Fig. 7. Rendimento médio de extração de óleo essencial da biomassa aérea de pimenta longa, submetida a métodos de secagem à sombra, sem (SSB) e com ventilação forçada (SSV), e em estufa com circulação de ar, a 30 °C (E30) e a 40 °C (E40) e por diferentes tempos de secagem em laboratório ($n = 5$).

O rendimento de extração de óleo essencial da biomassa de pimenta longa aumentou com o tempo de secagem, independentemente do método utilizado na secagem. Pôde-se observar que, a partir do 4º dia de secagem, destacou-se, como mais eficiente na extração, a biomassa desidratada à sombra com ventilação forçada, cujo maior rendimento registrado no 11º dia, de 4% superou, em 14%, a média obtida por Pimentel & Miranda (2001a) aos 8 dias de secagem, em seus estudos no Acre.

A relação de dependência entre os métodos de secagem e os tempos de desidratação, quanto ao rendimento de extração de óleo essencial, foi significativa e as curvas se ajustariam por equação polinomial quadrática e os maiores picos ocorreriam aos 10,1 (secagem sob ventilação forçada); 8,8 (secagem à sombra); 8,4 (secagem em estufa a 40 °C) e 7,2 dias (secagem em estufa a 30 °C).

Na Fig. 8, representam-se os teores médios de safrol contido em óleo essencial extraído da biomassa de pimenta longa submetida aos métodos de secagem à sombra, sem e com ventilação forçada, e em estufa com circulação de ar, sob temperaturas de 30 °C e 40 °C.

A secagem da biomassa à sombra, sem ventilação e em estufa a 40 °C, afetou o teor de safrol contido no óleo essencial de pimenta longa, haja vista as menores médias registradas nesses casos. A maior média de safrol foi observada no óleo essencial provindo de biomassa desidratada à sombra, com ventilação forçada, mas não diferiu estatisticamente da correspondente ao óleo extraído da biomassa submetida à secagem em estufa a 30 °C.

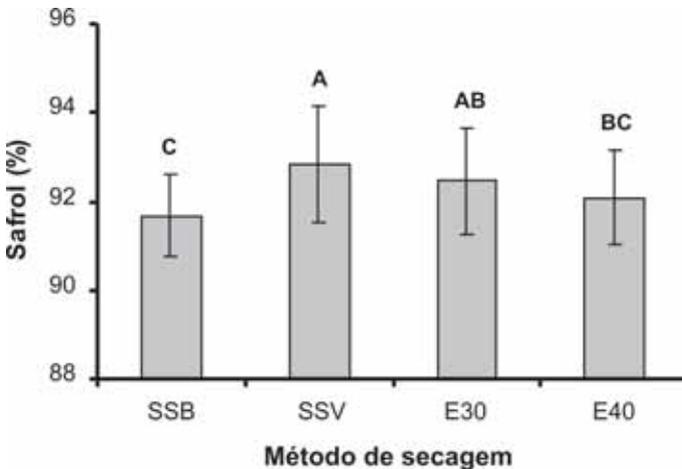


Fig. 8. Teor médio de safrol contido no óleo essencial extraído da biomassa aérea de pimenta longa, submetida a métodos de secagem à sombra, sem (SSB) e com ventilação forçada (SSV), e em estufas com circulação de ar, a 30 °C (E30) e a 40°C (E40). (Nas colunas gráficas, as mesmas letras indicam que não houve diferença significativa entre as médias, Tukey, $p \leq 0,05$; I = erro padrão da média; $n = 5$).

Sob ventilação forçada, com umidade média da biomassa de 41 % e rendimento de extração de óleo essencial de 3,3%, o teor de safrol foi equivalente ao obtido por Figueirêdo et al. (2001), mas com o óleo extraído da biomassa com cerca de 20% de umidade. O confronto desses resultados sugere que o teor de umidade tem influência no conteúdo de safrol, quando associado a determinados métodos ou condições de secagem.

Os efeitos de tempo de desidratação da biomassa de pimenta longa, em laboratório, sobre o teor de safrol contido no óleo essencial, estão representados na Fig. 9.

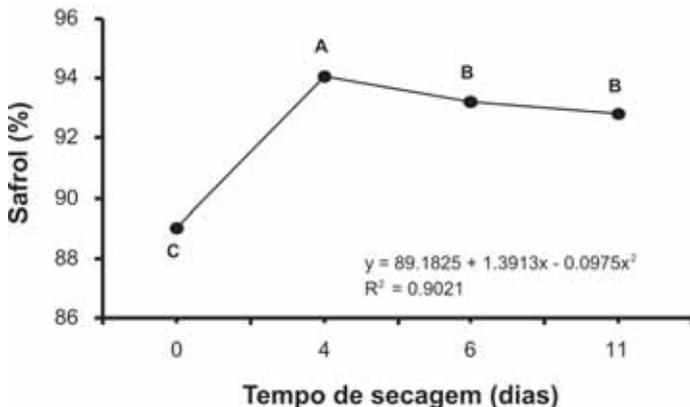


Fig. 9. Teor médio de safrol contido no óleo essencial extraído da biomassa aérea de pimenta longa, submetida a diferentes tempos e métodos de secagem em laboratório. (Nos pontos da curva, as mesmas letras indicam que não houve diferença significativa entre as médias, Tukey, $p \leq 0,05$; I = erro padrão da média; $n = 5$).

Os resultados médios de teor de safrol comprovam ser fundamental submeter a biomassa a procedimentos de secagem, por isso o controle (tempo 0) diferiu estatisticamente dos tempos de secagem de 4, 6 e 11 dias.

Observou-se que o prolongamento do tempo de secagem pode afetar o conteúdo de safrol no óleo essencial, fato que influenciou a superioridade estatística do tempo de secagem de 4 dias sobre os demais (6 e 11 dias), que não diferiram entre si. Esses resultados, no entanto, ao serem comparados com os de extração, tornam evidente que o teor de safrol e o rendimento de óleo essencial assumem tendências independentes entre si, tanto que os maiores rendimentos de extração foram alcançados aos 6 (3,5%) e 11 dias (3,4%) de secagem, diferentemente do que ocorreu com o safrol. Enquanto isso, os resultados obtidos por Pimentel & Miranda (2001a) comprovaram que o tempo de secagem influenciou, positivamente, o rendimento de extração de óleo essencial e o teor de safrol.

De acordo com o coeficiente de determinação (R^2), a curva de regressão teria melhor ajuste por equação polinomial quadrática e o máximo de teor de safrol no óleo essencial seria obtido aos 7,1 dias da secagem.

Na Fig. 10, representam-se os teores médios de safrol contidos em óleo essencial extraído da biomassa de pimenta longa, submetida a métodos de secagem à sombra, sem e com ventilação forçada, e em estufa com circulação de ar, a 30 °C e 40 °C, pelo tempo de 0, 4, 6 e 11 dias.

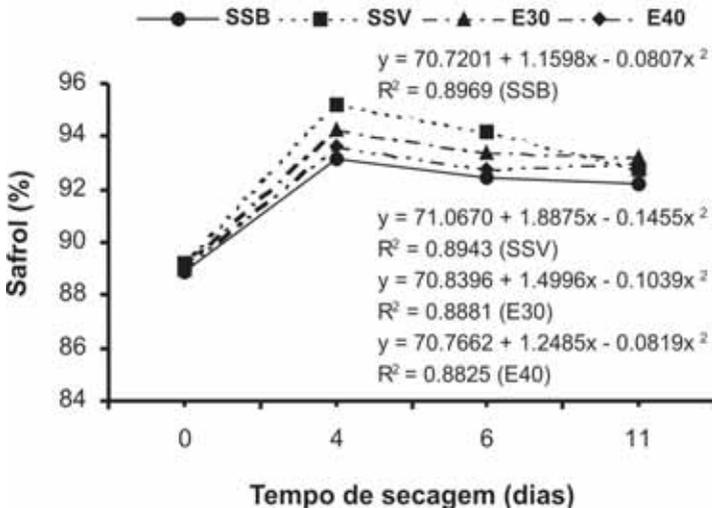


Fig. 10. Teor médio de safrol contido no óleo essencial da biomassa aérea de pimenta longa, submetida a métodos de desidratação à sombra, sem (SSB) e com ventilação forçada (SSV), e em estufa com circulação de ar, a 30 °C (E30) e a 40 °C (E40), por diferentes tempos de secagem em laboratório ($n = 5$).

Pôde-se observar que a secagem à sombra, com ventilação forçada e o tempo de secagem de 4 dias, se sobressaiu em relação aos outros métodos e tempos de secagem. De modo geral, destacaram-se as diferenças de teor de safrol entre os períodos efetivos de secagem (4, 6 e 11 dias) em relação ao controle (0 dia).

As regressões foram significativas, com as curvas podendo ser ajustadas por equação polinomial quadrática, e os teores máximos de safrol nas frações de

óleo essencial extraídas ocorreriam aos 6,5 (secagem à sombra sob ventilação forçada), 7,2 (secagens à sombra e em estufa a 30 °C) e 7,6 dias (secagem em estufa a 40 °C).

- Eficiência da secagem da biomassa aérea de pimenta longa em secador solar

1ª etapa

Os resultados dos parâmetros de avaliação (teor de umidade da biomassa, rendimento de extração de óleo essencial e quantidade de safrol) foram submetidos à Anova e houve diferença estatística entre os tipos de secadores testados na desidratação da biomassa de pimenta longa, mas quando foram considerados os tempos de secagem, não houve diferença estatística para rendimento de óleo essencial.

A umidade da biomassa verde de pimenta longa, quando da instalação do ensaio, situava-se em torno de 70%, sendo referência para a avaliação da eficiência dos tipos de secadores cobertos com palhas, plástico preto e plástico transparente.

Na Fig. 11, representam-se os teores de umidade da biomassa de pimenta longa, exposta à desidratação em secadores cobertos com palhas, plástico preto e plástico transparente.

A biomassa colocada para secar em secador coberto com plástico transparente apresentou o mais baixo teor de umidade, sendo superada em 18,1% e 12,5% pelas provindas de coberturas com palhas de palmeiras e de plástico preto, respectivamente. Pimentel & Miranda (2001b) também obtiveram bons resultados quando a desidratação da biomassa foi realizada em secador coberto com plástico transparente, cuja eficiência, naquele estudo, foi compatível à dos cobertos com alumínio e amianto.

As reduções de teor de umidade da biomassa nos secadores, em relação à umidade da biomassa verde, foram de 64% (cobertura de palha de palmeiras), 65% (cobertura de plástico preto) e 69% (cobertura de plástico transparente). A performance do secador coberto com plástico preto foi prejudicada pela restrição da circulação do ar no ambiente de secagem, limitada aos momentos de reviramento e tomada de amostra de biomassa, cujo desempenho foi equivalente ao da biomassa submetida a secador coberto com palhas de palmeiras.

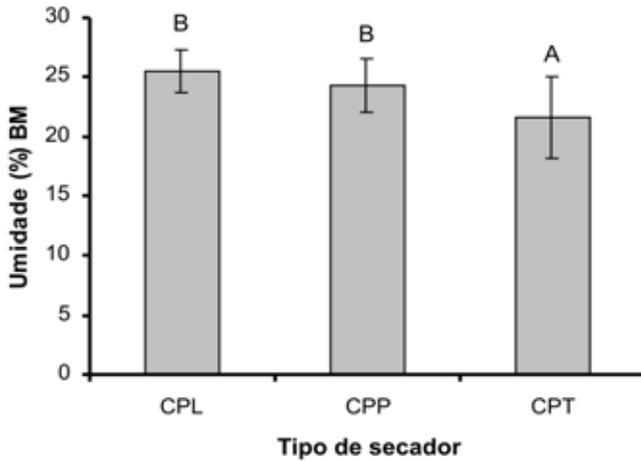


Fig. 11. Teor de umidade da biomassa aérea (BM) de pimenta longa submetida à desidratação em secadores solares cobertos com palhas de palmeiras (CPL), plástico preto (CPP) e plástico transparente (CPT). (Nas colunas gráficas, as letras iguais indicam que não houve diferença significativa entre as médias, Tukey, $p \leq 0,05$; I = erro padrão da média).

Na Fig. 12, estão representados os teores médios de umidade da biomassa de pimenta longa, obtidos a partir de amostragens realizadas no decorrer do tempo de desidratação, em diferentes tipos de secadores solares.

Em termos médios, a umidade foi reduzida acentuadamente entre o 1º e 2º dias da secagem (45,5%) e, a partir deste, as diferenças registradas não foram suficientes para estabelecer níveis de significância. No entanto, também se pôde observar que entre o 3º e 10º dias, os níveis de umidade da biomassa alternaram maiores e menores percentuais médios, causado, provavelmente, pelas oscilações das condições climáticas, principalmente da umidade relativa do ar, decorrente de chuvas ocasionais para o período mais seco na Vila de São Jorge do Jabuti. No Estado do Acre, Pimentel & Miranda (2001a) observaram, entre o 1º e 2º dias de secagem, reduções médias de umidade de 13,3% e, até o 8º dia, as perdas de umidade aumentaram gradativamente até o máximo de 41,8%, quando a biomassa apresentou cerca de 28% de umidade.

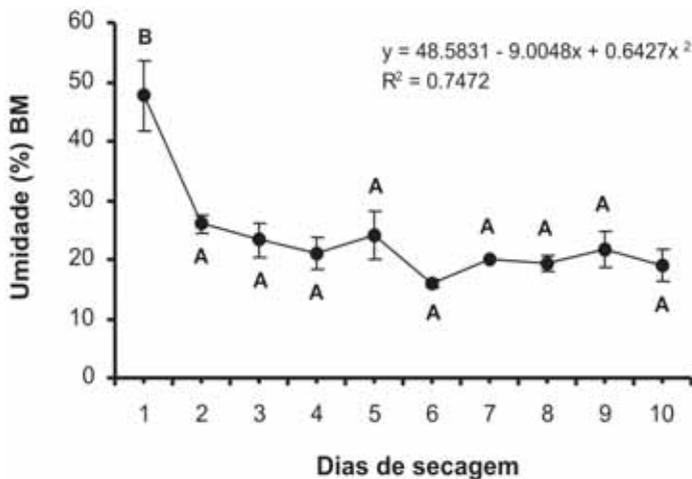


Fig. 12. Teor médio de umidade da biomassa aérea (BM) de pimenta longa, no decorrer do tempo de desidratação em secadores solares. (Nos pontos da curva, as mesmas letras indicam que não houve diferença significativa entre as médias, Tukey, $p \leq 0,05$; I = erro padrão da média).

A curva de regressão teria melhor ajuste por equação polinomial quadrática e, de acordo com o valor (-) do efeito linear, haveria a tendência da umidade da biomassa de pimenta longa diminuir com o tempo de secagem, atingindo o ponto máximo no 7º dia.

Na Fig. 13, representa-se o comportamento da biomassa de pimenta longa no decorrer do tempo de desidratação em diferentes secadores cobertos com palhas, plástico preto e plástico transparente.

Quando se fez a comparação da umidade da biomassa registrada no 10º dia de secagem, com a umidade da biomassa verde, as reduções foram de 74% (cobertura de palhas), 66% (cobertura de plástico preto) e 79% (cobertura de plástico transparente).

Observou-se entre o 1º e 2º dias de secagem que a transferência de umidade da biomassa para o ambiente, foi muito intensa e chegou a variar entre os tipos de secadores de 42% a 50%. Resultados próximos aos obtidos neste trabalho, só foram obtidos por Pimentel & Miranda (2001a) no 8º dia de secagem, provavelmente ocasionado pelas condições climáticas desfavoráveis.

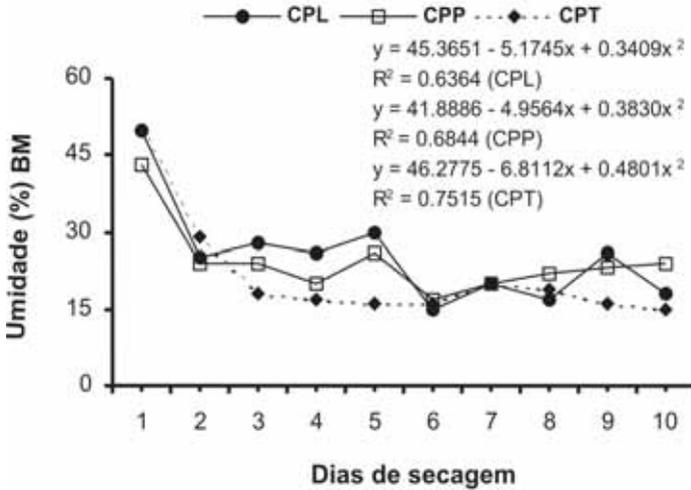


Fig. 13. Teor médio de umidade da biomassa aérea (BM) de pimenta longa, submetida a diferentes tempos de desidratação em secadores solares cobertos com palhas de palmeiras (CPL), plástico preto (CPP), e plástico transparente (CPT).

Com base nas análises de regressão, que não foram significativas para os dados obtidos de biomassa desidratada em secador coberto com palhas, pode-se inferir que, se forem considerados apenas os resultados de redução do conteúdo de umidade da biomassa, o tempo de secagem não deveria exceder a 6,5 dias, 7,1 dias e 7,6 dias, quando submetida à desidratação em secadores cobertos com plástico preto, plástico transparente e com palhas, respectivamente.

Os rendimentos de extração de óleo da biomassa de pimenta longa, exposta à desidratação em secadores cobertos com palhas, plástico preto e plástico transparente, estão representados na Fig. 14.

Os resultados obtidos guardam diferenças estatísticas entre as extrações de óleo essencial, provenientes de biomassas submetidas a secadores solares, com a melhor performance da processada em secador coberto com plástico transparente, sem diferir da exposta em secador coberto com plástico preto. O rendimento de óleo desta não diferiu da proveniente de secador coberto com palhas. Esses resultados se equivalem aos observados por Pimentel & Miranda (2001b), que obtiveram maior rendimento de extração de óleo essencial da biomassa de pimenta longa, quando desidratada em secador coberto com plástico transparente.

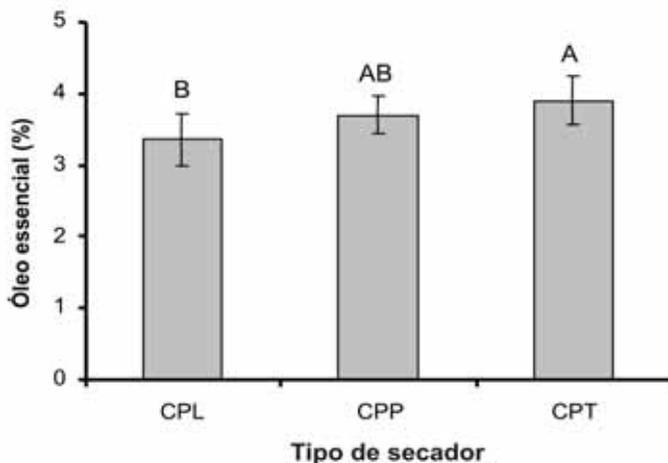


Fig. 14. Rendimento de óleo essencial proveniente da extração da biomassa aérea de pimenta longa, submetida à desidratação em secadores solares cobertos com palhas de palmeiras (CPL), plástico preto (CPP) e plástico transparente (CPT). (Nas colunas gráficas, as mesmas letras indicam que não houve diferença significativa entre as médias, Tukey, $p \leq 0,05$; I = erro padrão da média).

Os rendimentos de óleo essencial da biomassa de pimenta longa, amostrada no decorrer da desidratação em secadores solares, não diferiram entre si, logo o tempo de secagem não interferiu no processo de extração.

A análise de regressão não acusou significância, mas a equação do tipo polinomial quadrática ($y = 4,0449 - 0,1701x + 0,0144x^2$) daria melhor ajuste à curva e o coeficiente negativo do efeito linear prediz a tendência do rendimento de óleo diminuir até 5,9 dias do tempo de secagem. O baixo valor do coeficiente de determinação ($R^2 = 0,1698$) denota a pouca influência do tempo de secagem sobre o rendimento de extração de óleo essencial. Resultados semelhantes também foram observados por Pimentel & Miranda (2001a).

Os rendimentos de óleo essencial extraído da biomassa de pimenta longa, no decorrer do tempo de desidratação em secadores solares cobertos com palhas, plástico preto e plástico transparente, estão representados na Fig. 15.

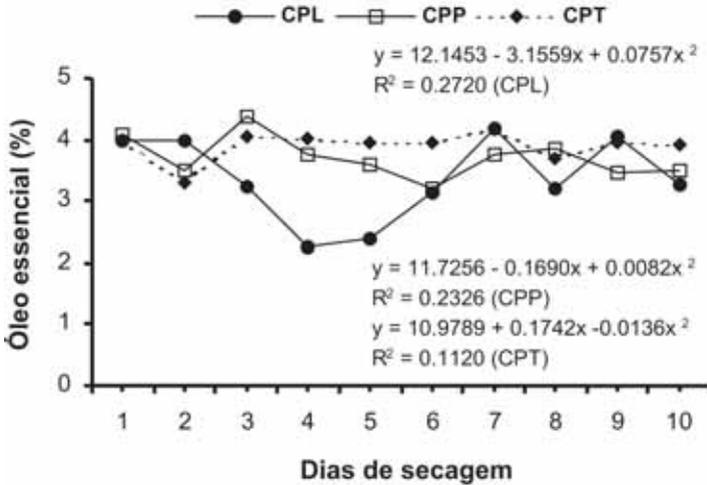


Fig. 15. Rendimento de óleo essencial na extração da biomassa aérea de pimenta longa, submetida a diferentes tempos de desidratação em secadores solares cobertos com palhas de palmeiras (CPL), plástico preto (CPP) e plástico transparente (CPT).

Em termos de valores absolutos, o maior rendimento de extração de óleo essencial foi obtido de biomassa submetida à desidratação em secador coberto com plástico transparente, que foi 12,8% e 5,1% maior que os registrados para as extrações da biomassas provenientes de secadores cobertos com palhas e com plástico preto, respectivamente. Pimentel & Miranda (2001b) consideraram o secador coberto com plástico transparente como um dos mais eficientes na secagem natural da biomassa de pimenta longa, com rendimento de extração, calculado em base livre de umidade, de 3,92%, equivalente ao obtido neste trabalho.

A maior eficiência na secagem da biomassa de pimenta longa, em secador coberto com plástico transparente, pôde ser comprovada pela pouca variação dos resultados de rendimento de óleo essencial obtidos entre o 3° e 7° dias de secagem, cujo intervalo deve estar situado o tempo ideal para a secagem da biomassa dessa piperácea para a extração de óleo. No trabalho de Pimentel & Miranda (2001a), o maior rendimento de extração foi alcançado no 8° dia de secagem (3,51%), considerando a média de todos os tipos de secadores testados.

Em que pese a não-significância das análises de regressão, as curvas se ajustaram melhor por equações polinomiais quadráticas, mas somente a biomassa proveniente de secador coberto com plástico transparente, com 6,4 dias, teria o pico máximo de óleo no intervalo de 1 a 10 dias de secagem. Para as demais, as projeções indicam que haveria a necessidade de prorrogar os procedimentos de secagem para 10,3 dias (cobertura com plástico preto) e 20,8 dias (cobertura de palhas).

Na Fig. 16, estão representados os teores de safrol contidos em óleo essencial extraído da biomassa de pimenta longa, proveniente de desidratação em secadores cobertos com palhas, plástico preto e plástico transparente.

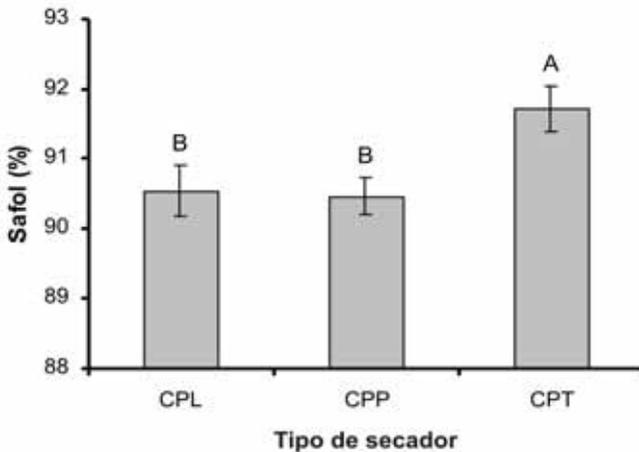


Fig. 16. Teor de safrol contido no óleo essencial extraído da biomassa aérea de pimenta longa submetida à desidratação em secadores solares cobertos com palhas de palmeiras (CPL), plástico preto (CPP) e plástico transparente (CPT). (Nas colunas gráficas, as mesmas letras indicam que não houve diferença significativa entre as médias, Tukey, $p \leq 0,05$; I = erro padrão da média).

A superioridade estatística observada no teor de safrol de óleo essencial, extraído da biomassa provinda de secador coberto com plástico transparente, enseja inferir que esse tipo de secador deva ser o indicado para os sistemas de

produção de pimenta longa. No trabalho de Pimentel & Miranda (2001b), a maior média de teor de safrol (91,7%) foi obtida de biomassa proveniente de desidratação em secador coberto com plástico transparente, mas, diferentemente do que ocorreu neste trabalho, não houve diferença estatística em relação às médias de teor de safrol em óleos essenciais resultantes de biomassas expostas à desidratação em secadores com coberturas de alumínio e de amianto.

Na Fig. 17, representam-se os teores de safrol contidos em óleo essencial extraído da biomassa de pimenta longa, com amostragens realizadas durante o tempo de desidratação em secadores solares.

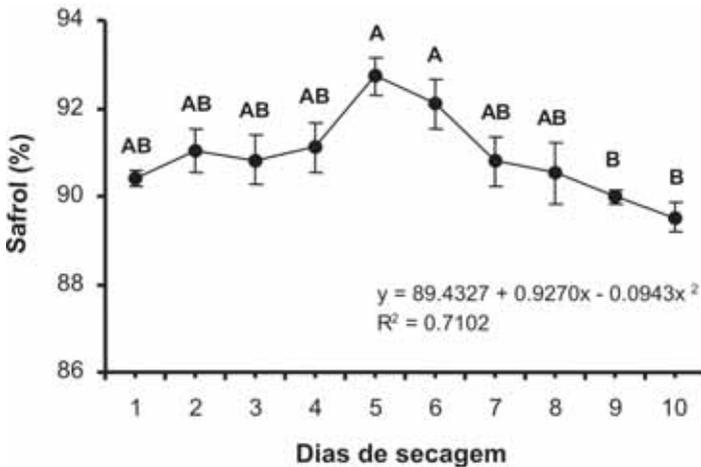


Fig. 17. Teor de safrol contido no óleo essencial extraído da biomassa aérea de pimenta longa, no decorrer do tempo de desidratação em secadores solares. (Nos pontos da curva, as mesmas letras indicam que não houve diferença significativa entre as médias, Tukey, $p \leq 0,05$; I = erro padrão da média).

O tempo de secagem da biomassa de pimenta longa provocou o estabelecimento de estratos de significância, mas as maiores médias obtidas de teor de safrol no 5° e 6° dias só diferiram estatisticamente das referentes aos 2 últimos dias de secagem (9 e 10 dias). Esses valores superaram as médias observadas, em todos os tempos (0 a 8 dias), por Pimentel & Miranda (2001a).

A equação polinomial quadrática possibilitaria o melhor ajuste da curva de regressão para os teores médios de safrol, que refletiria a tendência de aumento no conteúdo do óleo essencial até 4,9 dias do tempo de secagem. O teor médio de safrol (91 %) obtido satisfaz a exigência mínima para a comercialização do óleo essencial de pimenta longa, que gira em torno de 90%.

Na Fig. 18, estão representados os teores de safrol contidos em óleo essencial extraído de biomassa de pimenta longa, provenientes de diferentes tipos de secadores cobertos com palhas, plástico preto e plástico transparente, no decorrer do tempo de desidratação.

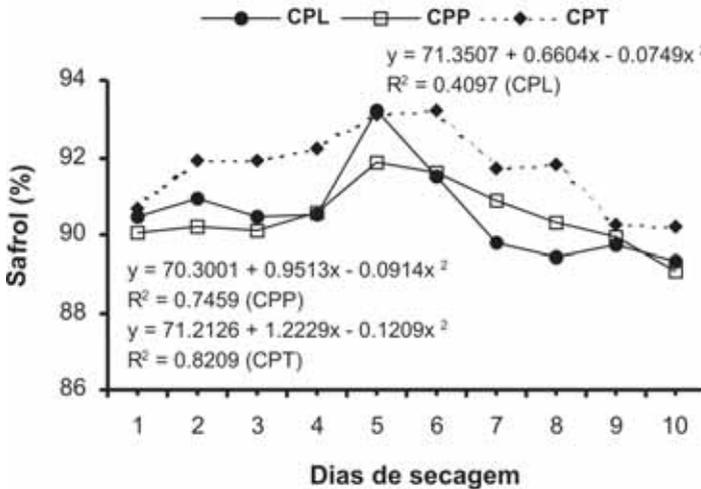


Fig. 18. Teor de safrol contido no óleo essencial extraído da biomassa aérea de pimenta longa, submetida a diferentes tempos de desidratação em secadores solares cobertos com palhas de palmeiras (CPL), plástico preto (CPP) e plástico transparente (CPT).

O maior teor de safrol, em óleo essencial de biomassa desidratada em secador coberto com plástico transparente, praticamente ocorreu em todos os tempos de secagem, quando comparadas a outras providas de secadores com coberturas de plástico preto e de palhas. Em todos os tipos de secadores, os maiores picos de teor de safrol foram observados em óleos resultantes de biomassa submetidas

a tempos de secagem entre 4 e 6 dias, fato que induz afirmar que não é necessário prorrogar a secagem além de 6 dias. Esses resultados são discordantes dos obtidos por Pimentel & Miranda (2001a), que sugerem um tempo mínimo de secagem de 8 dias.

As análises predizem que houve significância para as curvas de regressão, que teriam melhores ajustes por equações polinomiais quadráticas, correspondentes às biomassas desidratadas em secadores cobertos com plástico preto e plástico transparente. Os maiores teores de safrol seriam alcançados em torno de 5 dias.

A análise de correlação ($\alpha = 0,05$) entre teor de umidade da biomassa, rendimento de extração de óleo essencial e de teor de safrol, permitiu inferir que as correlações não foram estatisticamente significativas, com os valores de coeficiente de Pearson e de probabilidade iguais a 0,4593 e 0,1816; -0,1451 e 0,6891; e -0,5745 e 0,0823, respectivamente.

2ª etapa

A Anova possibilita informar que houve diferença estatística entre as variáveis de respostas representadas pelo teor de umidade da biomassa e a quantificação de teor de safrol, quando se compararam os tipos de secadores e os tempos de secagem, bem como para a interação entre esses fatores para rendimento de extração de óleo essencial e safrol.

Nas Tabelas 1, 2 e 3, discriminam-se os níveis de umidade relativa do ar, no ambiente interno dos diversos tipos de secadores testados na desidratação da biomassa de pimenta longa; informam-se as condições visuais do tempo, referentes às avaliações diárias às 6, 9, 12, 15 e 18 horas e as características físicas da biomassa quando das realizações das amostragens da biomassa às 6 e 12 horas, respectivamente.

Tabela 1. Umidade relativa do ar no ambiente interno dos secadores solares cobertos com palhas de palmeiras (CPL), plástico preto (CPP) e plástico transparente (CPT) testados na secagem da biomassa aérea de pimenta longa. Vila de São Jorge do Jabuti, Município de Igarapé-Açu, PA, no tempo de 6 a 16 de julho de 2000.

Tipo de Secador	Hora	Dias de Secagem										Média		
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		10	
CPL	6	98.5	98.0	100.0	96.0	97.0	100.0	92.0	97.0	92.0	92.0	100.0	96.0	97.0
	9	-	85.0	95.0	77.0	93.0	93.0	86.0	77.0	87.0	87.0	83.0	88.0	86.4
	12	78.0	72.0	87.0	79.0	93.0	89.0	78.0	78.0	84.0	84.0	71.0	75.0	80.4
	15	-	76.0	85.0	74.0	97.0	91.0	89.0	76.0	87.0	87.0	77.0	82.0	83.4
	18	-	92.0	96.0	89.0	88.0	86.0	90.0	92.0	92.0	92.0	90.0	88.0	90.3
	Média	88.3	84.6	92.6	83.0	93.6	91.8	87.0	84.0	88.4	84.2	85.8	88.7	
CPP	6	98.5	92.0	96.0	92.0	92.0	92.0	92.0	95.0	95.0	95.0	95.0	92.0	93.8
	9	-	93.0	93.0	76.0	85.0	81.0	76.0	75.0	94.0	73.0	84.0	83.0	
	12	78.0	94.0	64.0	72.0	91.0	77.0	82.0	74.0	74.0	71.0	86.0	78.5	
	15	-	73.0	69.0	73.0	87.0	96.0	89.0	74.0	91.0	72.0	72.0	79.6	
	18	-	65.0	92.0	93.0	92.0	92.0	85.0	89.0	92.0	92.0	92.0	97.0	88.9
	Média	88.3	83.4	82.8	81.2	89.4	87.6	84.8	81.4	89.2	80.6	86.2	86.1	
CPT	6	98.5	95.0	95.0	95.0	97.0	95.0	92.0	97.0	92.0	92.0	97.0	95.0	95.3
	9	-	96.0	89.0	85.0	89.0	86.0	83.0	83.0	78.0	97.0	89.0	87.5	
	12	78.0	67.0	69.0	72.0	87.0	76.0	73.0	76.0	71.0	81.0	74.0	74.9	
	15	-	66.0	78.0	76.0	84.0	84.0	86.0	89.0	83.0	76.0	82.0	80.4	
	18	-	96.0	97.0	96.0	89.0	87.0	84.0	92.0	81.0	89.0	92.0	90.3	
	Média	88.3	84.0	85.6	84.8	89.2	85.6	83.6	87.4	81.0	88.0	86.4	85.1	

Tabela 2. Condições visuais do tempo na Vila de São Jorge do Jabuti, Município de Igarapé-Açu, PA, no período de 6 a 16 de julho de 2000.

Secagem (dias)	Hora	CL	CP	CN	SB	SE	CA	CH	CV
0	6			X					
	12	X							
1	6			X					
	9			X					
	12			X					
	15				X				
	18		X						
2	6								X
	9			X					
	12					X			
	15					X			
	18		X						
3	6			X					
	9					X			
	12					X			
	15			X					
	18		X	X					
4	6			X					
	9			X					
	12			X					
	15						X		
	18								X
5	6						X		
	9			X					
	12							X	
	15							X	
	18			X					
6	6			X					
	9	X							
	12							X	
	15							X	
	18						X		
7	6		X						
	9				X				
	12			X					
	15	X							
	18			X					
8	6	X							
	9	X							
	12			X					
	15	X							
	18								X
9	6							X	
	9						X		
	12			X					
	15						X		
	18						X		
10	6			X					
	9					X			
	12							X	
	15						X		
	18			X					

CL = céu limpo com poucas nuvens, mas sem sol; CP = céu parcialmente nublado; CN = céu nublado; SB = sol aberto; SE = sol ligeiramente encoberto; CA = choveu antes; CH = chuva forte; CV = chuva fina.

Tabela 3. Condições físicas da biomassa aérea de pimenta longa submetida à desidratação em secadores cobertos com palhas de palmeiras, plástico preto e plástico transparente, na Vila de São Jorge do Jabuti, Município de Igarapé-Açu, PA, no período de 6 a 16 de julho de 2000.

Secagem (dias)	Hora	Tipo de Secador																	
		CPL						CPP						CPT					
		BU	BF	BS	BQ	BU	BF	BS	BQ	BU	BF	BS	BQ	BU	BQ				
0	6	X				X								X					
	12	X				X								X					
1	6	X				X								X					
	12	X				X								X					
2	6	X				X								X					
	12	X				X								X					
3	6	X				X								X					
	12	X				X								X					
4	6	X				X								X					
	12	X				X								X					
5	6	X				X								X					
	12	X				X								X					
6	6	X				X								X					
	12	X				X								X					
7	6	X				X								X					
	12	X				X								X					
8	6	X				X								X					
	12	X				X								X					
9	6	X				X								X					
	12	X				X								X					
10	6	X				X								X					
	12	X				X								X					

BU = biomassa úmida; BF = biomassa fria; BS = biomassa seca; BQ = biomassa seca e quebradiça.

Na Fig. 19, representam-se às médias de teor de umidade da biomassa de pimenta longa exposta à desidratação em secadores cobertos com palhas, plástico preto e plástico transparente.

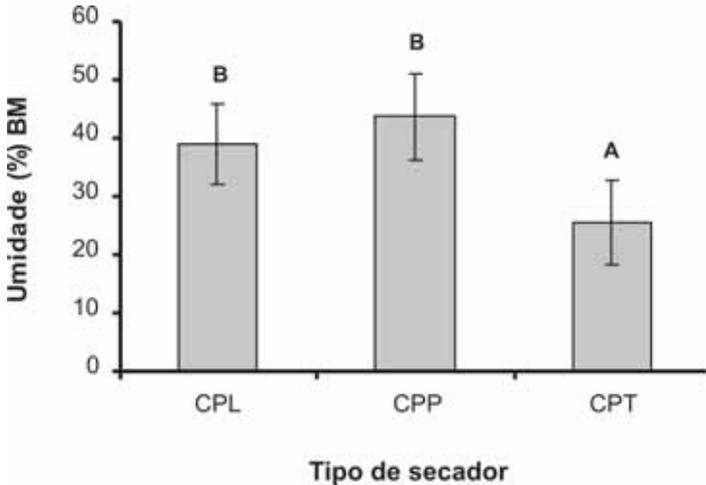


Fig. 19. Teor médio de umidade da biomassa aérea (BM) de pimenta longa submetida à desidratação em secadores solares cobertos com palhas de palmeiras (CPL), plástico preto (CPP) e plástico transparente (CPT). (Nas colunas gráficas, as mesmas letras indicam que não houve diferença significativa entre as médias, Tukey, $p \leq 0,05$; I = erro padrão da média; $n = 2$).

Nesta etapa do estudo, os resultados de teor de umidade confirmaram a tendência da eficiência dos secadores, quando comparados àqueles obtidos na primeira etapa. Na comparação de médias, observou-se que a da biomassa de pimenta longa, exposta a secador coberto com plástico transparente, diferiu estatisticamente daquelas provindas dos cobertos com plástico preto e com palhas, que não diferiram entre si.

Quando foram comparados os teores médios de umidade da biomassa, das duas etapas consideradas, foi possível inferir que as condições ambientais (temperatura e umidade relativa do ar) da segunda etapa tenham sido menos favoráveis ao processo de secagem, daí as médias terem sido maiores em todos os tipos de secadores testados, com taxas de 53%, 79% e 19% para os secadores cobertos com palhas de palmeiras, plástico preto e plástico transparente, respectivamente.

Na Tabela 2, pode-se verificar que dos 52 registros de observações visuais do tempo, no decorrer do período de secagem, observou-se que em 31 % desses, as condições eram de ocorrência de chuva (choveu antes, chuva forte, chuva fina), 54% de tempo nublado (céu parcialmente nublado, nublado ou com sol ligeiramente encoberto) e só 15% de condições mais favoráveis à secagem (céu limpo, sol aberto). Mesmo assim, o teor médio de umidade da biomassa desidratada em secador coberto com plástico transparente, após 10 dias de exposição, foi menor que os alcançados em 8 dias por Pimentel & Miranda (2001a), muito embora os teores de umidade inicial da biomassa tenham sido de 67% e 90%, respectivamente.

Os teores médios de umidade da biomassa de pimenta longa, registrados no decorrer da desidratação em secadores solares, estão representados na Fig. 20.

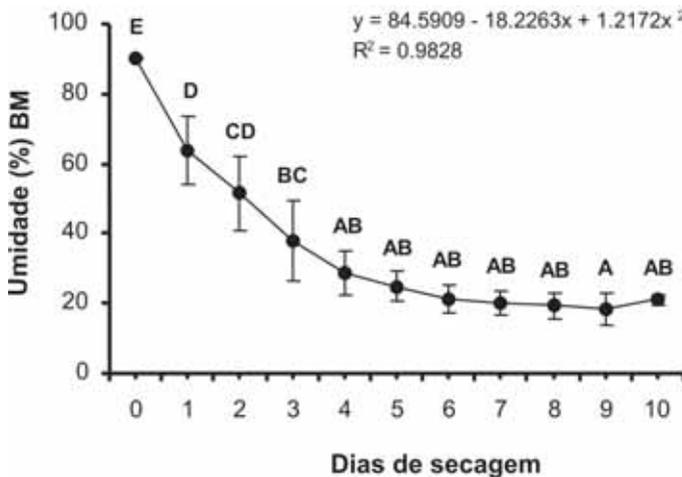


Fig. 20. Teor médio de umidade da biomassa aérea (BM) de pimenta longa, no decorrer da desidratação em secadores solares. (Nos pontos da curva, as mesmas letras indicam que não houve diferença significativa entre as médias, Tukey, $p < 0,05$; I = erro padrão da média; $n = 2$).

Observou-se que no 9º dia, com redução de 79,4%, foi registrado o menor teor médio de umidade da biomassa de pimenta longa, submetida à desidratação em secador solar, mas este não diferiu estatisticamente daqueles referentes às

amostragens realizadas a partir do 4º dia (redução de 68,1%) até o 10º dia (redução de 76,7%) do tempo de secagem. Esses resultados, quando interpretados de modo isolado e do mesmo modo ao que ocorreu na 1ª etapa, ensejam afirmar que a secagem da biomassa dessa espécie poderia ter duração bem menor que a recomendada ou praticada nos sistemas de produção, fato que representaria a redução de custo e minimizaria as perdas de biomassa por fermentação.

A análise de regressão foi significativa e a curva se ajustaria melhor por equação polinomial quadrática, com a tendência de que o teor de umidade da biomassa possa diminuir com o tempo de desidratação e o máximo seria alcançado aos 7,5 dias de secagem.

Na Fig. 21, representam-se as taxas médias de teor de umidade da biomassa de pimenta longa, no decorrer da desidratação, quando exposta em secadores cobertos com palhas, plástico preto e plástico transparente.

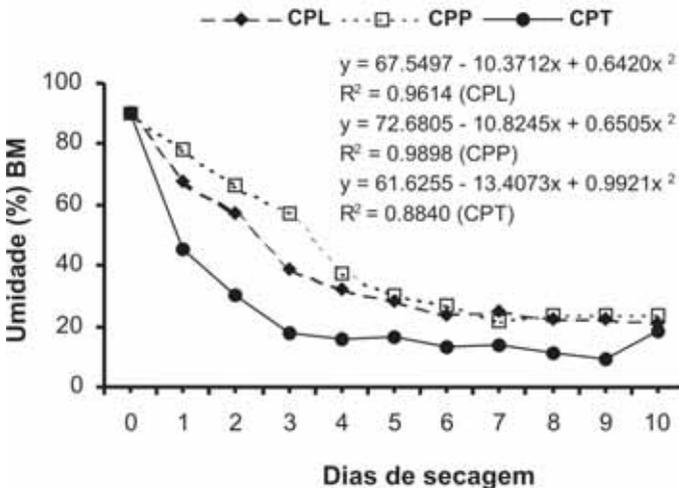


Fig. 21. Teor médio de umidade da biomassa aérea (BM) de pimenta longa, submetida a diferentes tempos de desidratação em secadores solares cobertos com palhas de palmeiras (CPL), plástico preto (CPP) e plástico transparente (CPT) (n = 2).

Pôde-se observar que o secador coberto com plástico transparente, em todo o transcurso da secagem, foi mais eficiente na redução do conteúdo de água da biomassa, e as diferenças se acentuaram a partir do 1º dia e se mantiveram até o 10º dia, quando comparada às coberturas com plástico preto e com palhas. Com o decorrer da secagem as diferenças diminuíram, mas não provocaram alterações na ordem de eficiência dos secadores cobertos com plástico transparente, palhas e plástico preto.

Ao serem comparadas as médias de teor de umidade da biomassa de pimenta longa, obtidas nas 2 etapas do trabalho, pôde-se verificar que, embora as condições ambientais não tenham sido as mais favoráveis à secagem da biomassa na 2ª etapa do estudo, no 6º dia, a biomassa resultante da desidratação em secador coberto com plástico transparente apresentou teor médio de umidade de 13%, taxa esta mais baixa que a registrada na 1ª etapa, para o mesmo tempo de secagem e tipo de cobertura do secador.

Os rendimentos médios de extração de óleo essencial da biomassa de pimenta longa, submetida à desidratação em secadores cobertos com palhas, plástico preto e plástico transparente, não diferiram estatisticamente entre si.

Observou-se que os tipos de coberturas dos secadores e os tempos de secagem não influenciam no rendimento de extração de óleo essencial. Os valores mantiveram-se dentro da faixa de amplitude de no máximo 0,7% (3,3% a 4,0%), um pouco maior que a observada por Pimentel & Miranda (2001a), que alcançou 0,53%. O rendimento médio experimental de 3,7% superou a média do Estado do Acre, que gira entre 2,0% a 2,5%⁵, mas ligeiramente inferior ao rendimento de 4%, obtido por Silva (1993). Em termos de valores absolutos, as médias de rendimentos obtidas nessa etapa são praticamente iguais às observadas na 1ª (CPL, 3,6%/3,4%; CPP, 3,7%/3,7% e CPT, 3,8%/3,9%).

De acordo com os resultados, pôde-se observar que o tempo de desidratação em secadores solares não influenciou o rendimento de extração de óleo essencial, por isso não houve registro de diferenças estatísticas entre os tratamentos. Resultados semelhantes foram observados na 1ª etapa deste estudo.

⁵Centro de Informação de Pimenta Longa, Mercados, consulta de 08/01/2004. <http://www.cpafac.embrapa.br/pimentalonga/mercados.htm>

A análise de regressão não foi significativa, mas observou-se, com o baixo valor do coeficiente de determinação, que não há dependência do aumento do rendimento de extração de óleo com relação ao tempo de secagem. No entanto, a curva de regressão se ajustaria melhor por equação do tipo polinomial quadrática, enquanto o valor positivo do coeficiente linear sinaliza a possibilidade do rendimento de óleo essencial aumentar até o tempo de secagem de 3,8 dias.

O comportamento de rendimento de extração de óleo essencial da biomassa de pimenta longa, submetida à desidratação pelo tempo máximo de 10 dias, em secadores cobertos com palhas, plástico preto e plástico transparente, está representado na Fig. 22.

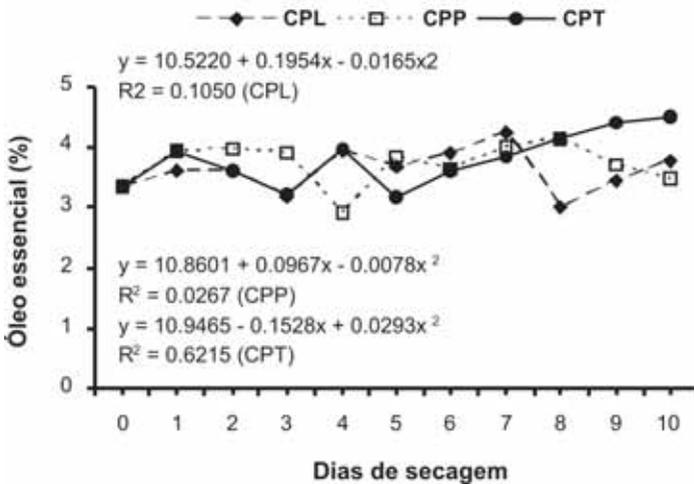


Fig. 22. Rendimento médio de extração de óleo essencial da biomassa aérea de pimenta longa, submetida a diferentes tempos de desidratação em secadores solares cobertos com palhas de palmeiras (CPL), plástico preto (CPP) e plástico transparente (CPT). (n = 2).

O rendimento de extração de óleo essencial variou de 2,9% (secador coberto com plástico preto/4º dia) a 4,5% (idem com plástico transparente/10º dia). De modo geral, esses resultados se equivalem àqueles obtidos na 1ª etapa e estão acima da média regional, que se situa em torno de 2,5%.

Quando foi considerada a interação entre os fatores representados pelos tipos de cobertura de secador e tempos de desidratação da biomassa, pôde-se observar que, independente do tipo de secador, o rendimento de óleo essencial extraído não variou estatisticamente. No entanto, foi possível observar distintos comportamentos estatísticos de rendimento de óleo essencial, entre as biomassas procedentes dos diferentes tipos de secadores no 4º, 8º e 10º dias de secagem, com destaque para a procedente de secador coberto com plástico transparente.

Os dados foram submetidos à análise de regressão e só houve significância, quando referidos ao rendimento de óleo essencial de biomassa desidratada em secador coberto com plástico transparente. As curvas poderiam ser ajustadas por equações polinomiais quadráticas e os maiores picos de rendimentos de óleo essencial seriam alcançados aos 5,2 (cobertura com plástico transparente); 5,9 (idem com palha) e 6,2 (plástico preto) dias.

Na Fig. 23, estão representados os teores médios de safrol obtidos de biomassa de pimenta longa, posta para desidratar em secadores cobertos com palhas, plástico preto e plástico transparente.

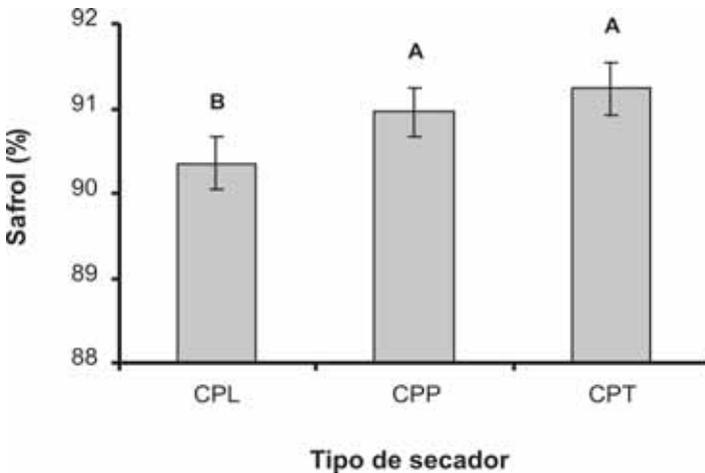


Fig. 23. Teor médio de safrol contido no óleo essencial extraído da biomassa aérea de pimenta longa, submetida à desidratação em secadores solares cobertos com palhas de palmeiras (CPL), plástico preto (CPP) e plástico transparente (CPT). (Nas colunas gráficas, as mesmas letras indicam diferenças significativas entre as médias, Tukey, $p < 0,05$; I = erro padrão da média; $n = 2$).

Na comparação de médias de teor de safrol em óleo essencial extraído da biomassa de pimenta longa, observou-se que as expostas em secadores com coberturas de plástico preto e plástico transparente não diferiram entre si, mas foram superiores estatisticamente à registrada para aquele provindo de biomassa de secador coberto com palhas de palmeiras. Comparativamente, esses resultados são semelhantes aos alcançados na 1ª etapa deste ensaio e, em ambas, as médias superaram os 90% de teor mínimo de safrol.

De acordo com os resultados disponíveis na literatura, as diferenças de teor de safrol, em amostras de óleo essencial de pimenta longa, podem estar associadas a diversos fatores, entre os quais, o tipo de cobertura do secador (Pimentel & Miranda, 2001b), a procedência do material botânico (Sousa et al. 2001) e o manejo da cultura (Silva et al. 2001).

Na Fig. 24, representam-se os teores médios de safrol contidos em óleo essencial extraído da biomassa de pimenta longa, a partir de amostragens realizadas, ao longo do tempo de desidratação em secadores solares.

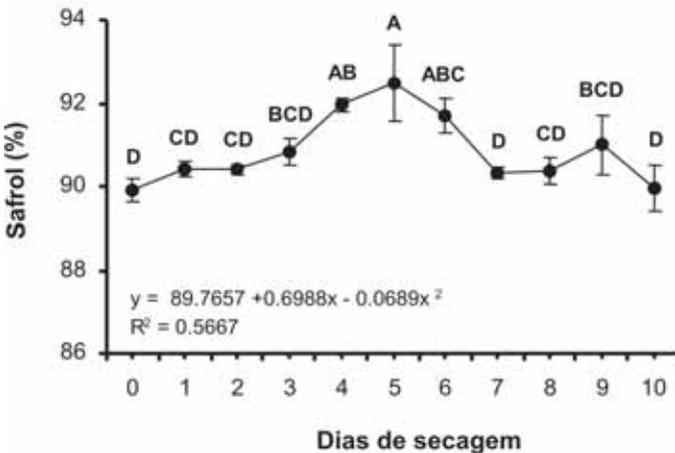


Fig. 24. Teor médio de safrol contido no óleo essencial extraído da biomassa aérea de pimenta longa, no decorrer do tempo de desidratação em secadores solares. (Nos pontos da curva, as mesmas letras indicam que não houve diferenças significativas entre as médias, Tukey, $p \leq 0,05$; I = erro padrão da média; $n = 2$).

Observou-se que o mais elevado teor médio de safrol, contido no óleo essencial, foi obtido de amostragem da biomassa no 5º dia da secagem, mas este não diferiu daqueles referentes às amostragens realizadas no 4º e 6º dias. A média experimental de 90,8% situou-se entre os extremos de 89,9% (0; 10 dias) e 92,5% (5 dias).

Pôde-se observar que o teor de safrol aumenta gradualmente, no óleo essencial de pimenta longa, a partir da extração em biomassa verde (0 dia) até aquela obtida aos 5 dias da secagem para, em seguida, decrescer até o nível compatível ao verificado na amostragem controle (0 dia). Diante disso, é possível inferir que o prolongamento do processo de secagem provocou a redução do teor de safrol no óleo essencial. Esse fato não foi observado no trabalho de Pimentel & Miranda (2001a), quando o teor de safrol aumentou até a última amostragem (8 dias).

A equação que melhor ajustaria a curva de regressão seria do tipo polinomial quadrática, com a tendência do pico ser alcançado a 5,1 dia do tempo de secagem, para decrescer em seguida.

Na Fig. 25, estão representados os teores médios de safrol que possibilitam visualizar o efeito do tempo de secagem sobre a biomassa de pimenta longa desidratada em secadores cobertos com palhas, plástico preto e plástico transparente.

Ao serem considerados os efeitos de cada tempo de desidratação entre os tipos de secadores, observou-se que só ocorreram diferenças estatísticas aos 5 e 9 dias de secagem, para as médias de teor de safrol de óleo essencial, resultantes de extração da biomassa provinda de secador coberto com palhas, as quais foram significativamente inferiores aos de biomassa desidratada em secadores cobertos com plástico preto e plástico transparente.

Na interpretação do efeito de tempo de secagem da biomassa de pimenta longa, nos secadores testados, observou-se que os estratos de significância, em número, foram maiores quando referentes a teor de safrol contido em óleo essencial extraído da biomassa provinda de secador coberto com palha, mas as maiores médias se situaram entre os tempos de secagem de 1 a 6 dias (> média). As variações de significância foram mais estreitas para os óleos extraídos da biomassa proveniente de secadores cobertos com plástico preto e plástico transparente e os picos de safrol ocorreram no 5º dia de secagem.

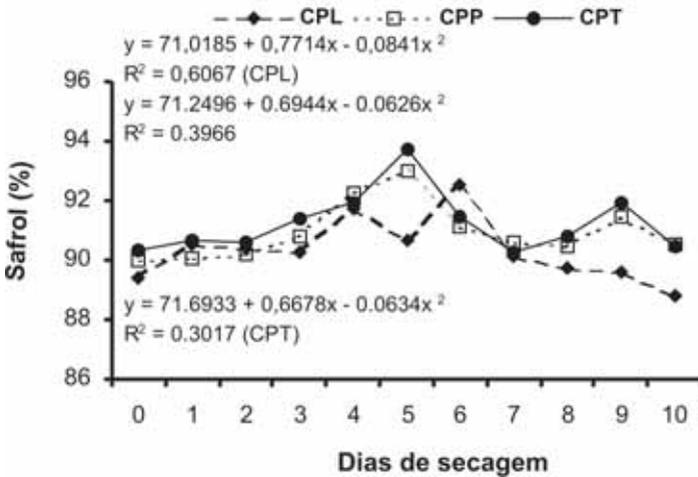


Fig. 25. Teor médio de safrol no óleo essencial da biomassa aérea de pimenta longa, submetida a diferentes tempos de desidratação em secadores solares cobertos com palhas de palmeiras (CPL), plástico preto (CPP) e plástico transparente (CPT). (n = 2).

As análises de regressão acusaram significâncias e as curvas seriam ajustadas por equação polinomial quadrática. Os pontos máximos de teor de safrol seriam alcançados aos 4,6 (secador coberto com palhas); 5,3 (idem coberto com plástico transparente) e 5,6 (idem coberto com plástico preto) dias do início da desidratação.

A análise de correlação ($\alpha = 0,01$) entre as variáveis de resposta (teor de umidade da biomassa, rendimento de extração de óleo essencial e de teor de safrol), de acordo com os valores de coeficiente de Pearson e a estimativa de probabilidade, não foi significativa e não existe correlação entre esses parâmetros, do mesmo modo como ocorreu na 1ª etapa deste ensaio.

Conclusões

Em condições de laboratório, a secagem da biomassa aérea de pimenta longa deve ser realizada à sombra, com ventilação forçada, pelo período de 4 a 11 dias.

Em campo, o secador solar com cobertura de plástico transparente é o mais eficiente na secagem da biomassa, com tempo variando entre 4 e 7 dias.

Referências Bibliográficas

ALENCAR, R.; LIMA, R. A.; CORRÊA, R. G. C.; GOTTLIEB, O. R.; MARX, M. C.; SILVA, M. L.; MAIA, J. G. S.; MAGALHÃES, M. T.; ASSUMPCÃO, R. M. V. Óleos essenciais de plantas brasileiras. **Acta Amazonica**, v.1, n.3, p. 41-43, 1971.

AYRES, M.; AYRES JUNIOR, M.; AYRES, D.L.; SANTOS, A.D.A. dos (Ed.) **BIOESTAT**. Aplicações estatísticas nas áreas das ciências biológicas e médicas. Belém: Sociedade Civil Mamirauá; Brasília: CNPq, 2003. 290p.

BRASIL. Ministério da Agricultura e da Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 1992. 365p.

ESTAT: sistema para análise estatística - versão 2.0. Jaboticabal: UNESP-FCAV, 1994. 1 disquete, 3 ½ pol.

FIGUEIRÊDO, F. J. C.; BAKER, D.; SANTOS, A. S.; ROCHA NETO, O. G. da; ALVES, S. M. Otimização da extração de óleo essencial e do teor de safrol de pimenta longa (*Piper hispidinervium* C. Dc.) 3. Estudo de umidade da biomassa sobre a eficiência da destilação. In: WORKSHOP DE ENCERRAMENTO DO PROJETO DE DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIAS PARA A PRODUÇÃO DE SAFROL A PARTIR DE PIMENTA LONGA (*PIPER HISPIDINERVUM*), 1., 2001, Rio Branco, AC. **Anais ...** Rio Branco: Embrapa Acre; Belém: Embrapa Amazônia Oriental: DFID, 2001. p. 168-173. (Embrapa Acre. Documentos, 75).

MAIA, J. G. S.; SILVA, M. H. L. **Relatório técnico do projeto "Potencial econômico das plantas aromáticas do Estado do Pará"**: cooperação técnica Brasil-Reino Unido (ODA). Belém: MPEG, 1995. 48p.

MAIA, J. G.; SILVA, M. L.; LUZ, A. I. R.; ZOGHBI, M. G. B.; RAMOS, L. S. Espécies de *Piper* da Amazônia ricas em safrol. **Química Nova**, v.10, n. 3, p. 200-204, 1987.

OMS (Genebra, Suíça). **Methods for medicinal plant materials**. Geneva, 1998. p. 30-34.

PIMENTEL, F. A.; MIRANDA, E. M. de. Efeito do tempo de destilação comercial de biomassa de pimenta longa (*Piper hispidinervum*). In: WORKSHOP DE ENCERRAMENTO DO PROJETO DE DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIAS PARA A PRODUÇÃO DE SAFROL A PARTIR DE PIMENTA LONGA (*PIPER HISPIDINERVUM*), 1., 2001, Rio Branco, AC. **Anais...** Rio Branco: Embrapa Acre; Belém: Embrapa Amazônia Oriental: DFID, 2001a. p. 180-183. (Embrapa Acre. Documentos, 75).

PIMENTEL, F. A.; MIRANDA, E. M. de. Eficiência de secadores solares com diferentes tipos de cobertura na secagem de biomassa de pimenta longa. In: WORKSHOP DE ENCERRAMENTO DO PROJETO DE DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIAS PARA A PRODUÇÃO DE SAFROL A PARTIR DE PIMENTA LONGA (*PIPER HISPIDINERVUM*), 1., 2001, Rio Branco, AC. **Anais ...** Rio Branco: Embrapa Acre; Belém: Embrapa Amazônia Oriental: DFID, 2001b. p. 153-158. (Embrapa Acre. Documentos, 75).

SANTOS, A. S.; ALVES, S. de M; FIGUEIRÊDO, F. J. C.; ROCHA NETO, O. G. da. **Descrição de sistema e métodos de extração de óleos essenciais e determinação de umidade de biomassa em laboratório.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2004. (Embrapa Amazônia Oriental. Comunicado Técnico, 99). No prelo.

SILVA, E. S. de A., ROCHA NETO, O. G. da; FIGUEIRÊDO, F. J. C. Respostas de pimenta longa à suplementação hídrica durante o tempo de estiagem no Município de Igarapé-Açu, PA. In: WORKSHOP DE ENCERRAMENTO DO PROJETO DE DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIAS PARA A PRODUÇÃO DE SAFROL A PARTIR DE PIMENTA LONGA (*PIPER HISPIDINERVUM*), 1., 2001, Rio Branco, AC. **Anais ...** Rio Branco: Embrapa Acre; Belém: Embrapa Amazônia Oriental: DFID, 2001. p. 69-73. (Embrapa Acre. Documentos, 75).

SILVA, M. H. L. **Tecnologia de cultivo e produção racional de pimenta longa, *Piper hispidinervium* C. DC.** 1993. 120f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SOUSA, J. A. de; OLIVEIRA, M. N. de; LÉDO, F. J. de S.; MENDONÇA, H. A. de; LOPES FILHO, I. I. Coleta, caracterização e avaliação do banco ativo de germoplasma de pimenta longa (*Piper* spp.) da Embrapa Acre. In: WORKSHOP DE ENCERRAMENTO DO PROJETO DE DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIAS PARA A PRODUÇÃO DE SAFROL A PARTIR DE PIMENTA LONGA (*PIPER HISPIDINERVUM*), 1., 2001, Rio Branco, AC). **Anais ...** Rio Branco: Embrapa Acre; Belém: Embrapa Amazônia Oriental: DFID, 2001. p. 15-21. (Embrapa Acre. Documentos, 75).

Embrapa

Amazônia Oriental

CGPE 5096

Patrocínio:



MINISTÉRIO DA AGRICULTURA,
PECUÁRIA E ABASTECIMENTO

