



## X Congresso Brasileiro de Engenharia Química Iniciação Científica

“Influência da pesquisa em Engenharia Química no desenvolvimento tecnológico e industrial brasileiro”

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Universidade Severino Sombra  
Vassouras – RJ – Brasil

### EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE SEMENTES DE FRUTOS DEISCENTES DE LEITEIRO (*Mabea fistulifera* Mart.)

SIQUEIRA\*<sup>1</sup>, O. B.; ROSSO<sup>2</sup>, G. A. SARTORI<sup>3</sup>, D.J.M

<sup>1</sup>Aluno do DEQ/UFSCar    <sup>2</sup>Mestranda do PPG-EQ/UFSCar    <sup>3</sup>Professor do DEQ/UFSCar  
Departamento de Engenharia Química - Universidade Federal de São Carlos  
Endereço – UFSCar, Rodovia Washington Luís, km 235 - SP 310 - , São Carlos, CEP. 13.565-905  
email: sartorid@ufscar.br

**RESUMO** - A *Mabea fistulifera*.Mart. é uma gimnosperma lactescente com função pioneira em florestas tropicais. No interior de frutos capsulares encontram-se as sementes. Após a sua extração, não podem perder a integridade física e a viabilidade dos embriões. Os objetivos consistem na extração das sementes dos frutos, com deiscência explosiva, via diferentes técnicas de secagem e nas caracterizações físicas e fisiológicas destas sementes. A coleta dos frutos realizou-se em árvores matrizes e a extração das sementes via secagem com radiação solar, convecção natural, convecção forçada em estufa e panela drageadora. Através do software Image Pro Plus® determinaram-se os diâmetros mínimo, (0,59±0,04) cm, médio, (0,67±0,04) cm, e máximo, (0,78±0,05) cm, esfericidade, (0,75±0,01), e via picnometria com hexano, a porosidade (32%), massas específicas real (1,20±0,01) g/cm<sup>3</sup> e aparente (0,82±0,01) g/cm<sup>3</sup> das sementes. Os experimentos de isoterma, pelo método estático, possibilitaram determinar a umidade de equilíbrio termodinâmico. A avaliação fisiológica, direta em solo, demonstrou a recomposição fisiológica, germinação próxima de 67% e velocidade de (1,5±0,1) sementes/dia, valores típicos de sementes das *Europhorbiaceae*. Todos os métodos viabilizaram o desenvolvimento embrionário, porém a secagem via drageadora ocorreu com o menor tempo de residência, fornecendo sementes com formato oblongo a obovóide, com qualidades físicas e fisiológicas adequadas para reflorestamentos em ecossistemas tropicais.

**Palavras chave:** secagem, propriedades físicas e fisiológicas, recomposição florestal.

### INTRODUÇÃO

As investigações sobre as operações de secagem de frutos e sementes de espécies arbóreas, que se originam a partir de áreas inóspitas, têm sido intensificadas e aumentado de importância nos últimos anos. Principalmente, devido às crescentes ações antrópicas em todos os continentes.

Visando minimizar as modificações resultantes desta atuação humana, poder-se-á recorrer aos processos de reflorestamento e recuperação de áreas degradadas. Recentemente, entre as pesquisas emergentes neste sentido, pode-se citar a revisão feita por Freire *et al.* (2013), com abordagem sobre as tendências das estratégias de secagem para o tratamento e manejo pós-colheita de sementes

\*Bolsista CNPq. (exemplo)

silvestres. Com base neste enfoque, tem-se como necessidade prima a condução de estudos sobre as sementes da espécie *Mabea fistulifera* Mart, conhecida popularmente por leiteiro, mamoinha-do-mato, canudeiro ou raiz-de-tiú (Rosso, 2013).

Esta espécie é caracterizada como uma planta lactescente, de 4 a 8 m de altura com tronco de 20 a 30 cm de diâmetro e com folhas simples (Lorenzi, 2002). Por ser uma espécie com função pioneira, existe uma grande importância em sua pesquisa, pois, pode ser usada em processos de reflorestamento e recuperação de solos degenerados.

A sua incidência está principalmente nos estados de SP, RJ e MG (Daud e Feres, 2004). Trata-se de uma espécie pioneira, pouco exigente em relação a nutrientes contidos no solo, e é indicada para plantios mistos destinados à recomposição de áreas degradadas.

Seus frutos são capsulares e caracterizados por sua deiscência explosiva, ou seja, podem ser armazenados e quando sofrem a ação de temperaturas mais elevadas passam por um processo de abertura espontâneo liberando as sementes contidas em seu interior. O fenômeno pode facilmente ser notado pelos estalos provocados por sua explosão (Lorenzi, 2002; Rosso, 2013).

O estudo desta semente é importante, pois sua utilização em processos de reflorestamento seria beneficiada com a utilização do processo de secagem, o que deixaria os embriões mais suscetíveis à germinação e com maior facilidade de armazenamento seguro. Para tal, fazem-se necessárias investigações referentes à caracterização das sementes, onde devem ser determinados os diâmetros mínimo, médio e máximo e a esfericidade, e via picnometria líquida a porosidade, massas específicas real e aparente das sementes.

## OBJETIVOS

Os objetivos consistem na separação das sementes dos frutos, com deiscência explosiva, via diferentes técnicas de secagem e nas caracterizações físicas e fisiológicas destas sementes.

## MATERIAIS E MÉTODOS

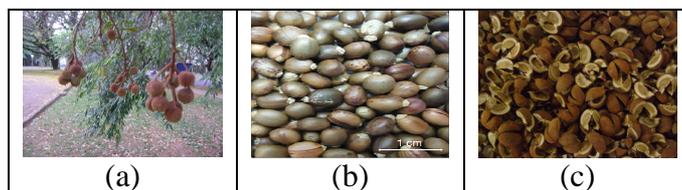
### Materiais

Para a realização dos ensaios foram utilizadas sementes de frutos capsulares com deiscência explosiva da espécie *M. fistulifera*. Os frutos foram coletados manualmente de árvores matrizes na região de transição entre o Cerrado e a Mata Semidecidual, próxima à região de São Carlos-SP. A extração das sementes foi realizada via secagem dos frutos, visando a ocorrência da abertura das cápsulas e a liberação das sementes.

### Separação das Sementes dos Frutos Capsulares com Deiscência Explosiva

A extração das sementes foi mediante a secagem dos frutos. Foram testadas, quatro diferentes técnicas de secagem, pois, como se trata de um fruto ainda pouco pesquisado, não se pode precisar a mais apropriada.

A primeira técnica testada foi a secagem via radiação solar, a segunda por meio de convecção natural, em seguida através de convecção forçada em estufa, com temperaturas aproximadas de 30 °C e por último a secagem em drageadora com velocidade do ar de secagem e temperatura em aproximadamente 1,5 m/s e 40 °C, respectivamente (Figura 1).



**Figura 1 – Frutos e sementes de *M. fistulifera* (a) frutos antes da coleta, (b) sementes e (c) cascas após a separação.**

De acordo com Lorenzi (2002), um quilograma corresponde a aproximadamente 9.600 sementes e sua viabilidade de armazenagem é curta, não ultrapassando seis meses. Portanto, as sementes foram armazenadas sob refrigeração, para que os embriões fossem preservados ao longo da condução dos experimentos. Com base em Arrieche *et al* (2009), os lotes foram armazenados em torno de 4 °C. Os lotes foram homogêneos, através de um quarteador do tipo Johnes® de 16 canais, com calhas de alimentação e coleta das amostras.

## Equipamentos Utilizados e Determinações das Principais Características Físicas das Sementes

Durante a caracterização das sementes foi determinado o diâmetro máximo, diâmetro mínimo, diâmetro médio, área projetada, perímetro projetado e a esfericidade das sementes. Para tal foi realizada uma análise de imagens com o auxílio do software Image Pro-Plus7® (Arrieche *et al.*, 2009) e empregada a relação apresentada na Equação 1, que define a esfericidade como uma relação entre o diâmetro inscrito com o diâmetro circunscrito (Telles e Massarani, 1992).

$$\phi \equiv \frac{d_{ic}}{d_{cc}} \quad (1)$$

A massa específica real foi determinada por meio de picnometria a hélio, a massa específica aparente por meio de picnometria a hexano (Freire *et al.*, 2013). As massas específicas, real e aparente, são obtidas através da Equação 2 e Equação 3, respectivamente, que relacionam a massa e o volume das partículas encontradas.

$$\rho_s = (m/V_s) \quad (2)$$

$$\rho_p = (m/V_p) \quad (3)$$

A porosidade foi obtida através da relação entre a massa específica aparente e a massa específica real, como indicado na Equação 4.

$$\varepsilon_p = 1 - \frac{\rho_p}{\rho_s} \quad (4)$$

### Análise da Reprodutibilidade dos Dados

Os dados das propriedades físicas das sementes, advindos dos experimentos e de suas replicatas, foram linearizados através da Equação 5.

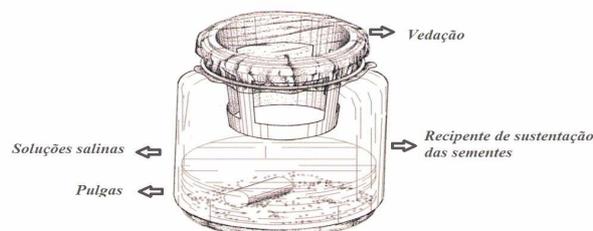
$$M = a.M(\text{replicata}) \quad (5)$$

Esta equação foi utilizada para verificação da reprodutibilidade dos dados em diferentes estudos sobre sementes (Arrieche *et al.*, 2009), substituindo M pelas respectivas

propriedades físicas  $D_{\text{máx}}$ ,  $D_{\text{min}}$ ,  $D_{\text{médio}}$ ,  $A_p$ ,  $P_p$ ,  $W$ ,  $T'$  e  $L$ , obtidas experimentalmente.

### Determinação da Isoterma de Equilíbrio

Na determinação da isoterma de equilíbrio termodinâmico, via método gravimétrico, de acordo com Barrozo (1996) e Labuzza (1985), a pesagem das sementes e dos sais utilizados na obtenção da isoterma, foi realizada através de uma balança analítica com precisão de  $10^{-4}$  g, marca Gehaka®, a isoterma de equilíbrio foi determinada, com o auxílio de uma câmara climatizada Ambi-Hi-Low® Chamber da marca Lab-Line®, modelo 35554-25. Os recipientes contendo as amostras de sementes para a obtenção da isoterma possuem dimensões aproximadas de  $6 \times 10^{-2}$  m de diâmetro e  $7 \times 10^{-2}$  m de altura. De acordo com o esquema mostrado na Figura 2.



**Figura 2 – Esquema dos recipientes contendo as sementes (Picelli *et al.*, 2009).**

A homogeneização das soluções salinas foi feita por meio de um agitador magnético da marca Fisatom®. Trata-se de uma operação fundamental na homogeneização e mistura dos materiais que deve ser conduzida durante a sorção. Para a obtenção da isoterma de equilíbrio foi usada uma estufa da marca FANEM®, para a determinação da umidade das sementes via método da estufa a  $(105 \pm 3)$  °C, por 24 h (AOAC, 2000).

### Testes de Avaliação da Qualidade Fisiológica dos Embriões

A avaliação da qualidade fisiológica das sementes foi conduzida com o intuito de se conhecer o crescimento dos embriões germinados, através de método direto em condições de campo.

Os testes de germinação foram conduzidos com base nas Regras de Análise de Sementes (ISTA, 2000). A avaliação da germinação das sementes de *M. fistulifera* via método direto, em campo, foi realizada em

condições naturais de solo no Horto Florestal Navarro de Andrade, São Carlos-SP.

Para tanto, foram semeados em lanços os lotes de sementes em canteiros com solo adubado contendo Tropstrato® florestal e adubo com esterco de origens animal e vegetal, onde 100 sementes de *M. fistulífera* foram lançadas na terra preparada e recobertas com o substrato orgânico.

Os resultados obtidos na avaliação da qualidade fisiológica das sementes foram tratados com o auxílio da Equação 6 e, assim, determinado o índice de germinação das sementes “in natura”.

$$GE = \frac{\text{Sementes germinadas}}{\text{Total de sementes da amostra}} \quad (6)$$

Concluídas as determinações físicas e fisiológicas, as amostras de sementes foram armazenadas em recipientes hermeticamente fechados e conservados sob refrigeração de aproximadamente 4 °C (Arrieche *et al.*, 2009).

## RESULTADOS

Durante os experimentos foi possível verificar que a separação na drageadora apresentou melhores resultados em relação ao tempo de residência dos frutos no processo de secagem, com abertura total dos frutos após aproximadamente 6 h e sementes mais saudáveis, que as obtidas pelos outros processos. Porém no caso de se adotar critérios do ponto de vista econômico e ecológico, bem como, considerando que o rendimento (Tabela 1) corresponde ao total de frutos abertos em relação ao total de frutos expostos à secagem, tem-se que o melhor método é a secagem via radiação, pois emprega a energia proveniente dos raios solares e apresenta sementes tão saudáveis quanto às obtidas na drageadora, com o mesmo rendimento de 100%.

**Tabela 1 - Resultados obtidos com os diferentes métodos de secagem utilizados.**

Métodos de secagem	Duração	Características (Cor semente)	Rendimento
Radiação solar	24h a 48h	Marrom vivo	100%
Convecção forçada	72h a 96h	Marrom escuro	97%
Drageadora	6h	Marrom vivo	100%
Convecção natural	120 a 168h	Marrom escuro com manchas cinzas	85%

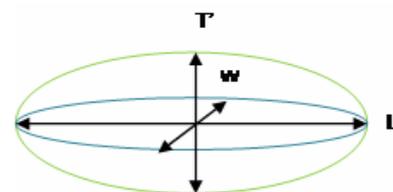
As diferenças entre as médias dos diâmetros máximos e mínimos são inferiores aos intervalos de desvios obtidos para cada análise em cada método empregado, o que levou à homogeneização dos lotes em um quarteador do tipo Johnes®, 16 canais. Após a obtenção do lote homogêneo, foi feita uma nova avaliação das sementes em relação aos diâmetros máximo, médio, mínimo, área projetada e o perímetro projetado. Para tanto, foi utilizado o software de análise de imagens Image Pro Plus®, conforme a Tabela 2.

**Tabela 2 – Propriedades físicas\*.**

Propriedade	Valor Médio	Parâmetro a	Desvio-padrão	Coefficiente correlação	Teste t	Variância Explicada (%)
Dmáx(cm)	0,78±0,05	1,03	0,0004	99,91	2469,3	99,83
Dmin (cm)	0,59±0,04	1,03	0,0005	99,88	1878,9	99,76
Dmédio (cm)	0,67±0,04	0,98	0,0001	99,98	6691,2	99,97
Ap (cm²)	0,36±0,05	0,94	0,0002	99,99	4543,7	99,98
Pp (cm)	2,49±0,14	0,97	0,0003	99,92	2610,3	99,94

(\*) nível de significância de 5% e p-valor < 0,001.

Outro teste realizado foi o de mensurar as dimensões das sementes, via micrômetro, a partir do comprimento, espessura e largura, conforme especificado na Figura 5. Estes valores estão reunidos na Tabela 3.



**Figura 5 – Esquema das dimensões analisadas da semente (Rosso, 2013).**

**Tabela 3 - Dados das dimensões das sementes via micrômetro digital\*.**

Dimensão (cm)	Média	Parâmetro a	Desvio-Padrão	Coefficiente correlação	Teste -t	Variância Explicada (%)
(W)	0,58±0,34	0,9981	0,0017	99,12	577,0	98,25
(T')	0,50±0,50	0,9959	0,9959	99,64	614,3	99,28
(L)	0,77±0,43	0,9985	0,0012	99,60	769,8	99,21

(\*) nível de significância de 5% e p-valor < 0,001.

Tanto na Tabela 2 quanto na Tabela 3 os parâmetros estatísticos foram calculados utilizando o software STATISTICA®. Pode-se observar que a reprodutibilidade dos dados está assegurada, pois os valores encontrados para o parâmetro a (Equação 5) foram próximos de um, o desvio-padrão foi baixo, o teste t alto e a variância explicada não está abaixo de 98,25% em nenhum dos casos avaliados. Os valores de p permitem assegurar a validade de a com elevado grau de

confiança. Em decorrência desta confiabilidade, tem-se que os dados obtidos via micrômetro estão de acordo com os valores encontrados com o software de análise de imagens Image Pro Plus®.

Com os dados da Tabela 2 e a partir da Equação 1, foi possível determinar a esfericidade das sementes, fornecendo o valor de  $(0,75 \pm 0,01)$ .

Também se determinou que a quantidade de sementes encontradas em dez gramas de amostra foi de  $(101 \pm 4)$  unidades, o que era esperado de acordo com Lorenzi (2008), pois corresponde a um valor condizente com os encontrados na literatura. Determinou-se que a umidade inicial das sementes extraídas das tricocas foi de  $(7,3 \pm 0,3) \% b.u.$ , conforme era esperado devido ao processo de extração via secagem do pericarpo.

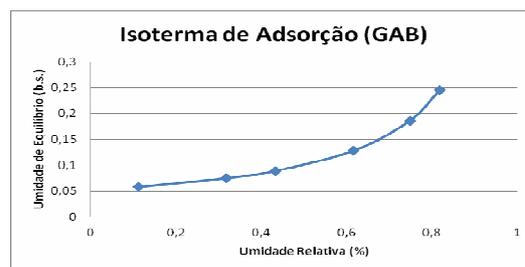
A determinação da massa específica real via Equação 2 apresentou como resultado o valor médio de  $(1,20 \pm 0,01) g/cm^3$ . Quando avaliada a massa específica aparente, através da técnica de picnometria líquida com hexano, foi verificado um valor de  $(0,82 \pm 0,01) g/cm^3$ .

Também foi possível obter os valores da umidade de equilíbrio termodinâmico, considerando o processo de adsorção de umidade das partículas na temperatura de aproximadamente  $40^\circ C$  para as sementes de *M. fistulífera*. Os dados foram ajustados a equações empíricas e semi-empíricas existentes na literatura para partículas orgânicas (Basu *et al.*, 2006; Rosso, 2013) e via análise estatística foram obtidos os ajustes dos parâmetros das equações (melhor representado pelo modelo GAB). Sendo que, na Figura 7, tem-se apresentado o ajuste da equação clássica de GAB aos dados experimentais (Basu *et al.*, 2006).

A curva obtida (Figura 7) apresenta comportamento típico de isoterma de adsorção, conforme era esperado para o processo de adsorção de umidade de sementes silvestres nestas condições, de acordo com Basu *et al.* (2006) e Picelli *et al.* (2009).

Com base na avaliação da germinação das sementes via método direto em solo, foi realizado o plantio das sementes em canteiros do Horto Florestal Navarro de Andrade. Onde as sementes “*in natura*”, após a extração das tricocas, foram semeadas. Verificou-se que as

mudas após 27 dias da semeadura apresentavam uma germinação de 46 %.



**Figura 7 - Isoterma de adsorção de umidade de equilíbrio, a  $40^\circ C$ , para as sementes de leiteiro.**

Depois de decorridos 40 dias do plantio, 67 % das sementes haviam germinado, isto resulta em uma velocidade de germinação média de  $(1,5 \pm 0,1)$  sementes/dia. Este resultado já era esperado, pois segundo Lorenzi (2008), é típico para sementes silvestres pioneiras. Na Figura 8 tem-se uma foto típica de um dos canteiros dos viveiros de mudas no qual foram semeadas a lanço as sementes de *M. fistulífera*.



**Figura 8 – Foto das plântulas em desenvolvimento no solo do canteiro.**

Após 40 dias da semeadura, as mudas de *M. fistulífera* apresentavam aproximadamente 4 folhas por planta, com sistema radicular em torno de 7 cm e parte aérea em torno de 6 cm.

Constatou-se que o desenvolvimento radicular das sementes de *M. fistulífera* ocorre entre 21 e 30 dias. Assim como ocorre com as sementes de Tapiá (*Alchomea triplinervia*, Mueller), família das *Europhorbiaceae* de frutos deiscentes, que ocorre entre 21 e 50 dias (Rosso, 2013).

## CONCLUSÃO

Os métodos utilizados para a coleta, extração, avaliação fisiológica e obtenção da isoterma das sementes da *M. fistulífera* foram adequados. Permitindo obter amostras com 100% de pureza, além de tornar possíveis as determinações das umidades de equilíbrio

termodinâmico. A verificação da reprodutibilidade estatística dos dados foi possível via análise de parâmetros estatísticos.

As operações de secagem utilizadas mostraram-se adequadas para as reduções de umidades dos frutos. Sendo a radiação solar a que apresentou maior velocidade de abertura do pericarpo, possibilitando a extração da semente. A determinação das propriedades físicas utilizando o software Image Pro-Plus®, também, foi adequada para a espécie de semente estudada.

Os ajustes dos parâmetros de equações advindas da literatura aos dados mostraram que, entre as equações analisadas, o melhor ajuste foi para a equação do modelo de GAB.

Os dados foram ajustados segundo equações empíricas e semi-empíricas existentes na literatura para partículas orgânicas e via análise estatística foram obtidos os ajustes dos parâmetros das equações (melhor representado pelo modelo GAB).

Também foi possível obter informações referentes à recomposição fisiológica das sementes desta espécie silvestre pioneira.

## NOMENCLATURA

A	parâmetro da Equação 5	[-]
a	área	[L <sup>2</sup> ]
b.s., b.u.	base seca e base úmida	[-]
D	diâmetro	[L]
dcc, dic	diâmetros circunscrito, inscrito	[L]
GE	germinação, Equação 6	[-]
L	espessura	[L]
M	dados de um experimento	[-]
m	massa	[M]
M <sub>(replicata)</sub>	dados do teste replicata	[-]
P, T	perímetro e largura	[L]
V, W	volume e comprimento	[L <sup>3</sup> ]

### Subscritos

Max	Maximo	Min	Mínimo
Médio	Médio	p	Partícula
s	Sólido	ou	real

### Símbolos Gregos

$\varepsilon_p$	porosidade	[-]
$\Phi$	esfericidade	[-]
$\rho_s$	massa específica real	[M L <sup>3</sup> ]
$\rho_p$	massa específica aparente	[M L <sup>3</sup> ]

## REFERÊNCIAS

AOAC. (2000) Official Methods of Analysis, Maryland, Ass. Of. Anal. Chem., USA

ARRIECHE, L. S.; PICELLI, R. M.; SARTORI, D. T. M. (2009) Secagem de sementes arbóreas pioneiras em leito fluidizado. Anais do 34<sup>o</sup> ENEMP, 10p., CD, Campinas, SP

BARROZO, M. A. S. (1995) Transferência de calor e massa entre o ar e sementes de soja em leitos deslizantes e escoamentos cruzados. Tese de doutorado, PPG-EQ/UFSCar, São Carlos, SP, 163p.

BASU, S.; SHIVHARE, U. S., MUJUMDAR, A. S. (2006) Models for Sorption Isotherms for Foods: a Review. DRT, v.24(8), p. 917–930.

DAUD, R. D.; FERES, R.J.F. (2004) O valor de *M. fistulifera*, planta nativa do Brasil, como reservatório para o predador *E. citrifolius*, Rev. Bras. Zool. vol.21 n.3, p. 38-46 Curitiba,.

FREIRE, J.TY.; SARTORI, D.J.M.; FREIRE, F.B.; HUGO, P (2013) Drying Strategies for the Postharvest Management of Wild Seeds. Stewart Postharvest Review, v. 9, p. 1-5

ISTA (2010) International Seed Testing Association, Muschick M. Ed. Bassersdorf, Switzerland.:68pp.

LABUZZA, T. P.; KAAANANE, A.; CHEN, J. Y. (1985) Effect of Temperature on the Moisture Sorption Isotherms and Water Activity Shift of Two Dehydrated Foods. J.Food Sc., v.50, p.385-390.

LORENZI, H. (2002) Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil. Nova Odessa: *Plantarum*, v.1, 368p.

MASSARANI, G.; TELLES, A. S. (1992) Aspectos da secagem de material sólido particulado. In:Freire, J. T. e Sartori, D.J.M. Tópicos Especiais em Secagem. São Carlos, v.1, ed. UFSCar, p. 1-39.

PICELLI, R.M.; ARRIECHE L. S., SARTORI, D. J. M. (2009) Umidade de equilíbrio de sementes pioneiras: isotermas de dessorção e adsorção para *C. glaziovii*. Anais VIII COBEQ-IC, CD Rom Uberlândia, MG.

ROSSO GA. (2013) Recobrimento de sementes de frutos silvestres em panela rotatória. Tese, PPGEQ/, UFSCar. 117 p.

## AGRADECIMENTOS

Ao apoio financeiro recebido do CNPq, CAPES, Horto Florestal Navarro de Andrade-SP, PRONEX/CNPq, FAPESP e ao Programa IC, Processo N<sup>o</sup> 043/2012 - PROPQ/UFSCar.