

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA

Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais

**PRODUÇÃO DA ÁGUA DE FUMAÇA E SEU EFEITO
SOBRE A GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE
ESPÉCIES FLORESTAIS DA AMAZÔNIA**

YÊDA MARIA BOAVENTURA CORRÊA ARRUDA

MANAUS/AMAZONAS

DEZEMBRO/2009

YÊDA MARIA BOAVENTURA CORRÊA ARRUDA

**PRODUÇÃO DA ÁGUA DE FUMAÇA E SEU EFEITO
SOBRE A GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE
ESPÉCIES FLORESTAIS DA AMAZÔNIA**

ORIENTADORA: Dra. ISOLDE DOROTHEA KOSSMANN FERRAZ

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em CIÊNCIAS DE FLORESTAS TROPICAIS, área de concentração em SILVICULTURA TROPICAL.

MANAUS/AMAZONAS

DEZEMBRO/2009

Ficha Catalográfica

A778 Arruda, Yêda Maria Boaventura Corrêa
Produção da água de fumaça e seu efeito sobre a
germinação de
sementes de espécies florestais da Amazônia / Yêda Maria
Boaventura Corrêa Arruda -- Manaus : [s.n.], 2009.
xii, 72 f. : il. (algumas color.)

Tese (doutorado em Ciências de Florestas Tropicais)--INPA,
Manaus, 2009
Orientadora: Dra. Isolde Dorothea Kossmann Ferraz
Área de Concentração: Manejo Florestal e Silvicultura

1.Sementes - Germinação 2.Tecnologia de sementes I.Título

CDD 19ª ed. 634.9562

Sinopse:

Estudou-se o efeito da água de fumaça sobre a germinação de sementes florestais. Água de fumaça é um extrato produzido através da diluição da fumaça, de origem vegetal, em água. Na primeira etapa da pesquisa, foram testadas dez matérias-primas regionais para a produção das águas de fumaça. Posteriormente, foram selecionadas duas águas de fumaça para os testes germinativos utilizando espécies com distintas características ecofisiológicas. Foi selecionada uma espécie florestal com elevado interesse silvicultural, para estudar o efeito do condicionamento com água de fumaça sobre o desempenho germinativo, vislumbrando o uso de um produto acessível para os produtores.

Palavras-chave: Fumaça de origem vegetal; tecnologia de sementes; vigor; condicionamento; espécies arbóreas.

*Aos meus pais, Paulo José in memoriam e Lêda,
ao meu esposo Warley e ao meu filho Thiago,
dedico.*

AGRADECIMENTOS

A Deus e a Nossa Senhora por serem a minha força espiritual.

Aos meus pais, Paulo José *in memoriam* e Iêda, pelos ensinamentos e incondicionado apoio em todos os momentos da minha vida.

Ao meu esposo Warley, amigo e companheiro, pelos incentivos e pessoa essencial para realização deste sonho.

Ao meu filho, Thiago, por ser a força e o motivo de continuar nesta jornada.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, em especial ao curso de pós-graduação em Ciências de Florestas Tropicais, pela oportunidade desta pós-graduação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pela concessão da bolsa.

Ao Projeto PROCAD (07/2007 - 06/2011) – Fisiologia e bioquímica de sementes de espécies florestais da Amazônia – das instituições parceiras UFV/INPA, pelo apoio logístico durante a realização deste trabalho.

A Dra. Isolde Ferraz não somente pela orientação, mas por confiar e acreditar que seria possível a realização deste trabalho, pelas conversas tão ricas em conselhos e ensinamentos para a vida profissional e pessoal, sempre mostrando a importância de ser um profissional de qualidade.

A minha família do Laboratório de Sementes II: Gê, Fabi, Mareike, Lílian, Alê, Kamila, Daniel, Aline, Kauê, Márcia. Pessoas importantes para a realização deste trabalho, pelo espírito de grupo, por terem sido meus guardiões no laboratório e proporcionarem momentos descontraídos. Saudades eternas.

Ao amigo João Rocha pela ajuda no trabalho de campo, sempre tranquilo e bem humorado.

As amigas Andreza Mendonça e Morgana Melo pela incondicional ajuda no início dos trabalhos de laboratório.

Aos colegas, técnicos do INPA, sempre prestativos quando solicitei uma ajuda: Jakes Costa, Raimundo Silva, Lúcio Batalha, Valdecira Azevedo, Jonas Moraes, Orlando Cruz Júnior e José Edivaldo Chaves.

A minha amiga de longas datas Tereza Cristina Manikchand pelas traduções.

*Nunca terá pressa
Aquele que sabe que vai chegar.*

RESUMO

A água de fumaça, extrato produzido pela dissolução da fumaça oriunda da combustão de produtos vegetais, vem sendo amplamente estudada por sua ação estimuladora na germinação e no crescimento de espécies silvestres e cultiváveis. Por ser uma pesquisa exploratória com espécies florestais Amazônicas, este estudo teve por objetivos: identificar matérias-primas de fácil aquisição na Amazônia para a produção da água de fumaça e avaliar seu efeito sobre a germinação de espécies florestais com diferentes características ecofisiológicas e de interesse econômico. Foram testadas dez matérias-primas para a produção da água de fumaça, oriundas de folhas, madeiras e resíduos florestais, além do papel de germinação. A eficácia das águas foi avaliada em bio-ensaios com sementes de tomate em diferentes diluições. Seis matérias-primas apresentaram ação positiva, principalmente, nos eventos pós-germinativos (comprimento da raiz e índice de vigor das plântulas). O efeito estimulador foi mais expressivo nas diluições 1:25, 1:50 e 1:100. Para o estudo das espécies florestais, foram selecionadas águas de fumaça produzidas com madeira de imbaúba (*Cecropia palmata* Willd.) e com papel de germinação. Considerando a taxa e o tempo médio de germinação, as espécies *Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl., *Bellucia grossularioides* (L.) Triana, *Enterolobium shomburgkii* Benth., *Cordia goeldiana* Hub., *Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don. e *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb. foram estimuladas pela água de fumaça; *Cariniana micrantha* Ducke, *Tabebuia serratifolia* (G. Don) Nichols. e *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke foram indiferentes; e *Swietenia macrophylla* King foi inibida. A água de fumaça aumentou a velocidade do processo em espécies com germinação prolongada (*B. excelsa* e *B. grossularioides*) e aumentou significativamente a germinação em lotes com baixo vigor (*C. goeldiana*, *O. pyramidale* e *J. copaia*). Um estudo mais detalhado foi realizado com *J. copaia*, espécie com dificuldades de propagação devido ao fotoblastismo positivo e a curta longevidade das sementes. A água de fumaça não foi capaz de eliminar a necessidade por luz e temperatura constante (25 °C) para a germinação das sementes, mas foi eficiente na redução do tempo de germinação das sementes de 31 para 22 dias. Mantendo as sementes embebidas com água de fumaça por 70 dias no escuro, houve um aumento na velocidade germinativa, tanto para as sementes embebidas a 25 °C quanto para o termo-período de 10 °C (20-30 °C). O trabalho vislumbra a aplicação da água de fumaça no setor florestal, por ser um produto acessível economicamente para os produtores.

ABSTRACT

Smoke produced by burning plant material dissolved in water, has been widely studied for its effect on stimulating the germination and growth of wild and cultivated species. Being an exploratory study of Amazonian forest species, this study aimed to: identify raw materials easily acquired in the Amazon for the production of smoke water and study its effect over the germination of forest species with different ecophysiological characteristics and economic value. Ten kinds of raw materials were tested for the production of smoke water, derived from leaves, wood and forest residues, besides germination paper. The water effectiveness was evaluated in biodrills with tomato seeds in different dilutions. Six materials presented affirmative action, especially in post-germination events (root length and rate of seedling strength). The stimulatory effect was more pronounced in the dilutions 1:25, 1:50 and 1:100. For the study of forest species, the smoke water produced with wood imbauba (*Cecropia palmata* Willd.) and germination paper were selected. Considering the rate of germination and mean germination time, the species *Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl., *Bellucia grossularioides* (L.) Triana, *Enterolobium schomburgkii* Benth., *Cordia goeldiana* Hub., *Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don. e *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb. were stimulated by smoke. *Cariniana micrantha* Ducke, *Tabebuia serratifolia* (G. Don) Nichols and *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke were indifferent and the species *Swietenia macrophylla* King was inhibited. The smoke increased the speed process in species with prolonged germination (*B. excelsa* and *B. grossularioides*) and significantly increased germination in plots with low strength (*C. goeldiana*, *O. pyramidale* and *J. copaia*). A more detailed study was conducted with *J. copaia*, species with difficulties to spread due positive photoblastism positive and short seed longevity. The smoke was not able to eliminate the need for light and constant temperature (25 °C) for seed germination, but was effective in reducing the germination time of seeds from 31 to 22 days. Keeping the seeds soaked in smoke water for 70 days in the dark, achieved an increase in speed of germination for both seed soaked at 25 °C and the thermo-period of 10 °C (20-30 °C). The work envisages the application of smoke water in the forest sector, because it is an affordable product for producers.

Lista de Tabelas

Tabela 1.1 – Comparação das águas de fumaça produzidas pela queima do papel de germinação (PG), da folha de palmeira (FP) e da madeira de imbaúba (MI) após dois períodos de armazenamento dos extratos, avaliando o comprimento da raiz (mm) de tomate	21
Tabela 1.2 – Faixa ótima (indicada em cinza) do efeito estimulador das águas de fumaça produzidas pela queima do papel de germinação (PG) e da madeira de imbaúba (MI), analisando as variáveis: comprimento da raiz (mm) e plântula normal (%), comparando três queimas distintas em sementes de tomate	22
Tabela 2.1 – Características gerais sobre os aspectos fisiológicos e ecológicos das dez espécies selecionadas para o estudo com a fumaça	30
Tabela 2.2 – Informações gerais sobre a montagem dos experimentos de germinação das dez espécies selecionadas	32
Tabela 3.1 – Porcentagem de germinação das sementes em três regimes de temperatura (25 °C; 20-30 °C e 15-35 °C), sem e com fumaça, da espécie <i>Jacaranda copaia</i> subsp. <i>spectabilis</i> (Bignoniaceae) submetida aos tratamentos de luz, escuro, luz e fumaça, escuro e fumaça	54

Lista de Figuras

- Figura 1.1 – Germinação das sementes e desenvolvimento das plântulas normais (▣) e anormais (▤) e sementes não germinadas (□) de tomate, no escuro à 25 °C ($\pm 2^\circ\text{C}$), cinco dias após a semeadura sob diferentes concentrações da água de fumaça produzidas pela queima de: papel de germinação (PG); folha de palmeira (FP); folha de imbaúba (FI); folha de milho (FM); madeira de imbaúba (MI); madeira de serragem de duas espécies (MSI); madeira de serragem de mais de duas espécies (MSII); resíduo do ouriço da castanha-da-amazônia (RC); resíduo da casca da semente de andiroba (RSA); resíduo do fruto de andiroba (RFA) 13
- Figura 1.2 – Morfologia das plântulas de tomate, cinco dias após semeadura e desenvolvimento no escuro (25 °C $\pm 2^\circ\text{C}$): (A) plântulas normais e (B) plântulas anormais 15
- Figura 1.3 – Comprimento da raiz (▣) e do hipocótilo (□) das plântulas de tomate, cinco dias após a semeadura e o desenvolvimento no escuro (25 $\pm 2^\circ\text{C}$) sob diferentes concentrações da água de fumaça produzidas pela queima de: papel de germinação (PG); folha de palmeira (FP); folha de imbaúba (FI); folha de milho (FM); madeira de imbaúba (MI); madeira de serragem de duas espécies (MSI); madeira de serragem de mais de duas espécies (MSII); resíduo do ouriço da castanha-da-amazônia (RC); resíduo da casca da semente de andiroba (RSA); resíduo do fruto de andiroba (RFA) 17
- Figura 1.4 – Quociente do Índice de Vigor das plântulas de tomate, cinco dias após a semeadura e o desenvolvimento no escuro (25 °C $\pm 2^\circ\text{C}$) sob diferentes concentrações da água de fumaça produzidas pela queima de: papel de germinação (PG); folha de palmeira (FP); folha de imbaúba (FI); folha de milho (FM); madeira de imbaúba (MI); madeira de serragem de duas espécies (MSI); madeira de serragem de mais de duas espécies (MSII); resíduo do ouriço da castanha-da-amazônia (RC); resíduo da casca da semente de andiroba (RSA); resíduo do fruto de andiroba (RFA) 19
- Figura 1.5 – Indicação por diluição das águas de fumaça que apresentaram diferença significativa em relação ao seu respectivo tratamento controle (água destilada) nas variáveis estudadas 20
- Figura 2.1 – Germinação das sementes de dez espécies arbóreas da região Amazônica, em diferentes concentrações das águas de fumaça produzidas pela queima de papel de germinação (PG – ▣) e madeira de imbaúba (MI – ▤). Os resultados foram comparados com os seus respectivos controle (□) 34
- Figura 2.2 – Efeito da fumaça sobre a germinação das sementes de dez espécies arbóreas da região Amazônica, pela comparação entre o controle (▲) e a maior germinação alcançada com cada matéria-prima: papel de germinação (PG – ○) e madeira de imbaúba (MI – ●), indicando a respectiva diluição 36

Figura 2.3 – Tempo médio (símbolo), inicial e final (linha) da germinação das sementes de dez espécies arbóreas da região Amazônica, semeadas na luz a 25 °C (± 2 °C) e hidratadas com água (▲) ou diferentes concentrações da água de fumaça produzidas pela queima de papel de germinação (PG – ○) e madeira de imbaúba (MI – ●)	38
Figura 2.4 – Tempo até 50 % das sementes germináveis das dez espécies arbóreas da região Amazônica, comparando o $T_{50\%}$ do controle (▲) com o da maior germinação em cada tratamento: papel de germinação (PG – ○) e madeira de imbaúba (MI – ●)	39
Figura 2.5 – Curva de germinação das sementes de freijó (<i>Cordia goeldiana</i> Hub. – Boraginaceae), semeadas na luz à 25 °C (± 2 °C), hidratadas com água (▲) ou com diferentes concentrações da água de fumaça produzida pela queima de papel de germinação – PG: 1:10 (+); 1:25 (*) e 1: 50 (□)	40
Figura 3.1 – Valor máximo da germinação das sementes (T), sob luz nos três regimes de temperatura (25 °C; 20-30 °C e 15-35 °C), sem e com água de fumaça (1:50), de <i>Jacaranda copaia</i> subsp. <i>spectabilis</i>	57
Figura 3.2 – Germinação final (%) das sementes de <i>Jacaranda copaia</i> subsp. <i>spectabilis</i> , semeadas sem e com água de fumaça (1:50), após 70 dias mantidas nas amplitudes térmicas de 10 °C (20-30 °C) e 20 °C (15-35 °C) e transferidas para as condições ideais de germinação (luz; 25 °C)	58
Figura 3.3 – Avaliação do efeito da embebição por 70 dias no escuro, sem e com água de fumaça, de sementes de <i>Jacaranda copaia</i> subsp. <i>spectabilis</i> , nas condições de temperatura constante (25 °C) e amplitudes térmicas de 10 °C (20-30 °C) e 20 °C (15-35 °C), após a transferência para as condições ideais de germinação (luz; 25 °C)	60

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
ARTIGO I	5
RESUMO	6
ABSTRACT	7
INTRODUÇÃO	8
MATERIAL E MÉTODOS	10
RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
CONCLUSÕES	23
ARTIGO II	24
RESUMO	25
ABSTRACT	26
INTRODUÇÃO	27
MATERIAL E MÉTODOS	29
RESULTADOS	33
DISCUSSÃO	41
CONCLUSÕES	45
ARTIGO III	47
RESUMO	48
ABSTRACT	49
INTRODUÇÃO	50
MATERIAL E MÉTODOS	52
RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
CONCLUSÕES	61
CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

INTRODUÇÃO

A passagem do fogo em determinados ambientes é fundamental para a estratégia reprodutiva de algumas espécies. Outros elementos também influenciam as espécies durante essa passagem como, por exemplo, fumaça e calor.

Desde a década de 70 são realizados estudos sobre a ação da fumaça na germinação das sementes, como pode ser visto nos trabalhos de Bhalla e Sabharwal (1973), Bhalla *et al.* (1973) e Bhalla *et al.* (1974). Nos anos 90, os trabalhos se intensificaram para as espécies de ambientes dependentes do fogo, como na América do Norte (Estados Unidos - Keeley e Fotheringham, 1997, 1998), na África (África do Sul - Brown, 1993) e na Oceania (Austrália - Dixon *et al.*, 1995). Mas, a fumaça mostrou-se também eficiente em um variedade de espécies não susceptíveis ao fogo, como descrito nos trabalhos de Pierce *et al.* (1995), Brown e Van Staden (1997), Van Staden *et al.* (2000) e Gómez-González *et al.* (2008).

Em 2004, Flematti *et al.* (2004) isolaram o agente biológico ativo na fumaça, o butenolídio, 3-metil-2*H*-furo[2,3-*c*]piran-2-ose, como sendo um dos responsáveis pelo estímulo na germinação das sementes. A confirmação foi obtida pela comparação do efeito da forma sintética do butenolídio com a fumaça derivada da combustão das plantas, através do teste de uma série de diluições em ensaios germinativos com sementes de *Lactuca sativa* L. cv. Grand Rapids. Os resultados mostraram que a germinação foi estimulada de forma similar tanto pelo produto sintético quanto pela fumaça. O butenolídio é um composto estável a altas temperaturas (118-119 °C), solúvel em água e ativo em várias concentrações (1 ppm a 100ppt) (Flematti *et al.*, 2004).

A fumaça pode ser aplicada na forma aquosa ou gasosa (fumigação) (Farley, 2005). A preparação da forma aquosa consiste na queima, em um camburão, de material que tenha na sua composição celulose; a fumaça produzida é transportada por uma mangueira até outro recipiente com volume de água conhecido, ocorre a dissolução da fumaça na água pela borbulha, com auxílio de um equipamento de sucção; com a queima completa do material combustível e o término da borbulha tem-se a solução concentrada da água de fumaça. Posteriormente, são produzidas as soluções nas concentrações desejadas. Para a fumigação, é feita a queima do material e o transporte da fumaça, como descrito anteriormente, até uma barraca na qual encontram-se as sementes; porém, a mangueira na qual circula a fumaça passa por um sistema de resfriamento com água. O tempo de fumigação das sementes está em função de cada espécie. Para os estudos dessa tese, a fumaça foi usada apenas na forma aquosa.

Na literatura, a forma aquosa da fumaça é denominada de “smoke water”, nesse estudo optou-se por utilizar a tradução literal do termo – água de fumaça, pela facilidade na divulgação do produto, pela associação da fumaça com a água e por despertar a curiosidade do leitor, e uma vez explicada a sua produção, o termo é facilmente compreendido.

Já é conhecida a aplicação da fumaça no incremento à germinação das sementes, por exemplo *Clematis vitalba*, *Alnus glutinosa* (Pérez-Fernández e Rodríguez-Echeverría, 2003), *Cistus ladanifer* e *C. crispus* (Crosti *et al.*, 2006); na superação de diversos tipos e níveis de dormência, por exemplo para superar o fotoblastismo positivo das sementes de alface (*Lactuca sativa*) (Drewes *et al.*, 1995; Van Staden *et al.*, 2000); nos eventos pós-germinativos, como no vigor das plântulas, por exemplo em *Albuca pachyclamys*, *Merwillia natalensis* e *Tulbaghia*

violaceae (Sparg *et al.*, 2005) e no armazenamento das sementes, como por exemplo em *B. tournefortii*, após 18 meses (Stevens *et al.*, 2007).

Todavia, a aplicabilidade da fumaça não parece ser restritiva a espécies silvestres. O efeito positivo da água de fumaça foi testado em espécies cultiváveis, como alface (Jager *et al.*, 1996), tomate (Jain e Van Staden, 2006) e quiabo (Van Staden *et al.*, 2007); além das espécies conhecidas na medicina popular local, como descritos nos trabalhos de Sparg *et al.* (2005), Kulkarni *et al.* (2006a) e Kulkarni *et al.* (2007a). Vários trabalhos também já foram desenvolvidos com sucesso no campo para a restauração de áreas degradadas, como Roche *et al.* (1997a), Read *et al.* (2000) e Smith *et al.* (2000).

A fumigação e a água de fumaça têm um grande potencial para o uso na horticultura, agricultura, manejo das ervas daninhas, restauração de habitats e práticas conservacionistas (Light e Van Staden, 2004). A aplicação da fumaça na tecnologia das sementes mostra-se economicamente viável, de fácil produção e com vasta aplicabilidade. Estudos com espécies lenhosas são escassos, podendo citar apenas Tieu *et al.* (2001) e Gómez-González *et al.* (2008) e nenhum estudo com espécies florestais nativas da região Amazônica. Esse trabalho tem uma característica exploratória, por buscar identificar matérias-primas da região Amazônica que tenham potencial em produzir águas de fumaça e, também, testá-las em espécies florestais da região com diferentes características ecofisiológicas, com o intuito de buscar alternativas para os produtores que sejam fáceis e de baixo custo para a produção de mudas.

ORGANIZAÇÃO DA TESE

Os resultados obtidos nessa tese são apresentados em três capítulos. O primeiro capítulo tratou da produção da água de fumaça utilizando nove diferentes matérias-primas, oriundas de folhas, madeiras e resíduos não-madeireiros. As matérias-primas foram selecionadas pela abundância, fácil aquisição e possível destino final de resíduos. Comparou-se o efeito das diferentes águas de fumaça na germinação das sementes de tomate e nos parâmetros de vigor, como comprimento da raiz e do hipocótilo e o índice de vigor. A eficácia das águas de fumaça foi avaliada em uma série de diluições.

No segundo capítulo, foram selecionadas dez espécies arbóreas da região Amazônica, todas com interesse econômico, seja pelo seu potencial madeireiro, seja alimentício. Buscou-se nesta seleção uma diversidade nas características das sementes quanto a morfologia, peso da massa fresca, local de reserva, tipo de dispersão entre outras. Em cada espécie foi avaliada a germinação e a velocidade do processo germinativo das sementes tratadas com duas águas de fumaça produzidas com papel de germinação e com madeira de *Cecropia palmata* Willd., em uma série de diluições.

No terceiro capítulo, foi realizado um estudo mais aprofundado com as sementes de uma espécie – *Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don., cujas exigências para a germinação são severas, como necessidade por luz e temperatura constante, dificultando a propagação desta espécie promissora para a recuperação de áreas degradadas. No estudo foi utilizada água de fumaça preparada com madeira de *C. palmata* na diluição 1:50. O efeito da água de fumaça foi avaliado sobre a germinação das sementes de *J. copaia* e durante o condicionamento no escuro das sementes em diferentes regimes de temperaturas.

Tese de doutorado no formato de artigo científico em língua portuguesa,
seguindo as normas da revista *Acta Amazonica*

ARTIGO I

O uso de matérias-primas da região Amazônica para a produção da água de fumaça

Yêda Maria Boaventura Corrêa Arruda¹, Isolde Dorothea Kossmann Ferraz¹

1 – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, AM, Brasil

Autora para correspondência: yedaarruda@gmail.com

RESUMO

A fumaça e a água de fumaça são utilizadas como um estimulante tanto da germinação das sementes quanto do vigor das plântulas de uma variedade de espécies silvestres e cultivadas. A produção da água de fumaça não precisa de mão-de-obra especializada, apresenta baixo custo operacional e pode ser utilizada pelos produtores na região Amazônica. O objetivo desse trabalho foi identificar e testar matérias-primas de fácil acesso na região (folhas, madeiras e resíduos vegetais) para a preparação da água de fumaça, avaliando o seu efeito na germinação das sementes e no vigor das plântulas de tomate. Os testes germinativos foram conduzidos no laboratório e as variáveis foram avaliadas após cinco dias da semeadura. Todos os extratos apresentaram efeito inibidor em altas concentrações. O efeito estimulador foi observado, principalmente, em águas de fumaça produzidas com matérias-primas de folhas (palmeira – FP; milho – FM) e de madeiras (imbaúba – MI; serragem de louro e angelim-vermelho – MSI; serragem de várias espécies de louro – MSII) e de papel de germinação (PG). O efeito estimulador foi mais expressivo na avaliação das plântulas normais, no comprimento (raiz, hipocótilo e total) e no índice de vigor. Em função disso, três outras queimas foram realizadas com PG e MI, confirmando os resultados estimuladores na germinação das sementes na faixa de diluição entre 1:25 e 1:100. Pelos resultados foi verificado o potencial dos produtos regionais na preparação da água de fumaça. Contudo, um aperfeiçoamento da metodologia é necessário para a elaboração de um protocolo de produção e uso da água de fumaça com matérias-primas da Amazônia.

PALAVRAS-CHAVE

Fumaça de origem vegetal; sementes; germinação; vigor; tomate.

The use of raw materials in the Amazon region for the production of smoke water

ABSTRACT

The smoke and the extract of smoke water are used as a stimulant for germination and seed strength, for a variety of wild and cultivated species. The production of smoke water does not require specialized labor, has a low operational cost and can be used by producers in the Amazon region. The aim of this study was to identify and test easily accessible raw materials in the region (leaves, wood and crop residues) for the preparation of smoke water, evaluating its effect on seed germination and tomato seedling vigour. The germination tests were conducted in the laboratory and the variables were evaluated after five days of sowing. All extracts showed an inhibitory effect at high concentrations. The stimulating effect was observed mainly in smoke water produced with raw materials of leaves (palm - FP; maize - FM) and wood (imbauba - MI; sawdust of louro and angelim-vermelho - MSI; sawdust of various species of louro - MSIII) and germination paper (PG). The stimulating effect was more significant at the evaluation of normal seedlings in the length (root, hypocotyl and total) and vigour index. As a result, three other fires were conducted with PG and MI, confirming the results in stimulating germination of seeds in the range of between 1:25 and 1:100 dilutions. The result of this experiment shows the potential for regional products in the preparation of the smoke water. However, an improved methodology is needed to work out a protocol for the production and use of smoke water with raw materials of the Amazon.

KEYWORDS

Smoke derived from plant; seed; germination; vigour; tomato.

INTRODUÇÃO

Água de fumaça é um extrato produzido através da diluição da fumaça em água. A fumaça de origem vegetal, solúvel em água, pode aumentar a germinação das sementes (Pérez-Fernández e Rodríguez-Echeverría, 2003; Crosti *et al.*, 2006), superar a dormência (Brown e Van Staden, 1997; Jusaitis *et al.*, 2004) e aumentar o vigor das plântulas (Sparg *et al.*, 2005; Van Staden *et al.*, 2006).

Várias espécies com importância ecológica e econômica já foram alvo de estudos sobre o efeito da fumaça. Pesquisas mais intensas com espécies silvestres de vários ecossistemas foram executadas nos Estados Unidos (Keeley e Fotheringham, 1997 e 1998), na Austrália (Dixon *et al.*, 1995; Roche *et al.*, 1997a, 1998) e na África do Sul (Brown, 1993; Baxter *et al.*, 1994; Brown *et al.*, 2003). Entretanto, sementes de espécies economicamente viáveis do setor da medicina popular (Sparg *et al.*, 2005; Kulkarni *et al.*, 2006a, 2007a) e do setor produtivo apresentaram também respostas positivas a diversos tipos de aplicação da fumaça, como alface (Jäger *et al.*, 1996), arroz (Kulkarni *et al.*, 2006b), quiabo, tomate (Kulkarni *et al.*, 2007b; Van Staden *et al.*, 2007) e milho (Sparg *et al.*, 2006; Van Staden *et al.*, 2006).

Mesmo com esta gama de estudos utilizando a água de fumaça, somente em 2004, foi identificado o butenolídio (3-metil-2*H*-furo[2,3-*c*]piran-2-ose), como o componente biologicamente ativo, originário da queima da celulose (Flematti *et al.*, 2004) e da combustão de material vegetal (Van Staden *et al.*, 2004).

Em escala laboratorial, a água de fumaça é preparada, geralmente, com papel de germinação, ou pela queima de espécies herbáceas nativas, por exemplo *Themeda triandra* L. e *Passerina vulgaris* Thoday (Jain e Van Staden, 2006). Porém,

outros materiais de origem vegetal foram testados para a sua produção, como por exemplo, folhas de angiospermas e gimnospermas (Jäger *et al.*, 1996). Todavia, o efeito parece variar em função do tipo de material (galho ou folha) usado na combustão, o seu estado (seco e/ou fresco), bem como a concentração de fumaça na água (Brown e Van Staden, 1997; Landis, 2000; Minorsky, 2000).

A princípio, a produção da água de fumaça parece ser simples, de baixo custo operacional e não precisa de mão-de-obra especializada. Portanto, visualizou-se uma aplicação para pequenos e grandes produtores na região Amazônica. Desta forma, o presente trabalho procurou, em uma primeira abordagem, materiais de fácil aquisição da região para a produção da água de fumaça.

Para esse estudo, o efeito da água de fumaça foi testado com sementes de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), pois, recentemente, variáveis relacionadas à germinação e ao desenvolvimento das plântulas dessa espécie mostraram ser susceptíveis a água de fumaça, como a quantidade de raízes secundárias (Taylor e Van Staden, 1998), a morfometria e a biomassa das plântulas (Jain e Van Staden, 2006) e a quantidade de frutos (Kulkarni *et al.*, 2008).

O estudo visou identificar matérias-primas, oriundas de folhas, madeiras e resíduos vegetais, da região Amazônica eficazes para a produção da água de fumaça; identificar problemas relacionados com a produção e aplicação da mesma sobre a germinação de sementes de tomate.

MATERIAL E MÉTODOS

A preparação dos extratos de fumaça seguiu a metodologia desenvolvida por Farley (2005). Dez matérias-primas foram selecionadas e agrupadas conforme a sua origem, em: grupo das folhas – folha da palmeira de açai (*Euterpe precatoria* Mart.) (FP), da imbaúba (*Cecropia palmata* Willd.) (FI), da palha da espiga do milho (*Zea mays* L.) (FM); grupo das madeiras – de imbaúba (*C. palmata* Willd.) (MI), serragem das madeiras de louro-gamela (*Sextonia* spp.) e angelim-vermelho (*Dinizia excelsa* Ducke) (MSI), serragem da madeira de várias espécies de louro (*Licania* spp. / *Aniba* spp.) (MSII); grupo dos resíduos – sobras do ouriço da castanha-da-amazônia (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.) (RC), da casca da semente de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) (RSA), da valva do fruto de andiroba (*C. guianensis* Aubl.) (RFA); além do controle - papel de germinação fino (Germitest®) (PG).

As matérias-primas foram previamente secas e queimadas na proporção de 6 kg de material para 10 L de água destilada conforme Flematti *et al.* (2004). Os extratos concentrados, após resfriamento e filtragem, foram armazenados a 15 °C (± 2 °C).

A ação dos extratos foi testada em sementes de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivar Santa Adélia Super (lote 6210-20366B) produzida por TOPSEED Premium®. As sementes foram semeadas em caixas de germinação do tipo gerbox (121 cm²) sobre quatro camadas de papel de germinação fino (Germitest®) e ficaram no escuro por cinco dias na temperatura de 25 °C (± 2 °C). De cada extrato foram testadas, geralmente, oito diluições: 1:5000, 1:2500, 1:1000, 1:100, 1:50, 1:25, 1:10 e 1:2,5 (v:v). Os papéis de germinação foram umedecidos com água destilada (tratamento controle) ou com as diluições na proporção 1:3 (g:g).

Em cada extrato de fumaça, os tratamentos foram replicados oito vezes com 25 sementes.

A validade dos extratos, produzidos com as diferentes matérias-primas, foi testada após um ano de armazenamento, em recipiente de plástico, a 15 °C (± 2 °C) no escuro. Após esse período, novas diluições foram realizadas para os testes de germinação. Seguiu-se o método como descrito anteriormente, desta vez foram utilizadas placas de Petri descartáveis (72,3 cm²) e o papel de germinação foi umedecido na proporção 1:3,3 (g:g) com água destilada ou com as diluições pré-estabelecidas .

O sistema de produção das águas de fumaça foi avaliado a partir de três queimas distintas para as matérias-primas papel de germinação fino (Germitest®) (PG) e madeira de imbaúba (*C. palmata*) (MI). Novas diluições foram realizadas para cada água de fumaça produzida; os testes de germinação seguiram o método descrito anteriormente.

As variáveis estudadas foram: percentual de sementes germinadas (considerando raiz primária ≥ 2 mm), percentual de plântulas normais e anormais, comprimento da raiz primária e do hipocótilo (mm), comprimento total (mm) e o Índice de Vigor (IV), segundo Dhindwal *et al.* (1991): $IV = [\text{comprimento do hipocótilo (mm)} + \text{comprimento da raiz (mm)}] \times \text{porcentagem final da germinação}$. Nesse estudo, o estágio de desenvolvimento chamado plântula baseou-se em Jain e Van Staden (2006), no qual plântula normal de tomate apresentou alongamento da raiz primária e do hipocótilo; enquanto, plântula anormal apresentou emergência da raiz primária sem o seu alongamento.

Todas as variáveis foram coletadas cinco dias após a semeadura. Nas análises estatísticas foi usado o programa PROPHET 5.0. Os dados foram

submetidos aos testes de Shapiro-Wilk (teste de normalidade dos resíduos) e de Levene (teste de homogeneidade entre variâncias). Quando necessário, os dados de germinação foram transformados em arco seno $\sqrt{x}/100$ e os demais em Log $(x+1)$. Com as duas pressuposições aceitas (normalidade e homogeneidade) foi aplicada a Análise da Variância (ANOVA) para o estudo da variabilidade entre os tratamentos. O teste de Tukey, a 5 % de significância, foi usado para analisar as diferenças entre as médias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O efeito positivo da água de fumaça pode se manifestar na germinação das sementes (Adkins *et al.*, 2002), na redução das anormalidades das plântulas (Brown, 1993) e em diferentes variáveis do vigor, como por exemplo, no comprimento da raiz e da parte-aérea (Van Staden *et al.*, 2006). Desta forma, o efeito das dez matérias-primas, agrupadas pela sua origem, em folhas, madeira e resíduos, foi avaliado no percentual de germinação das sementes e da formação de plântulas normais de tomate (Figura 1.1), no comprimento da raiz e do hipocótilo (Figura 1.3) e no índice de vigor (Figura 1.4).

Em todas as águas de fumaça produzidas, as soluções mais concentradas, 1:2,5 e 1:10, reduziram significativamente o percentual de germinação em comparação a testemunha (água destilada) (Figura 1.1).

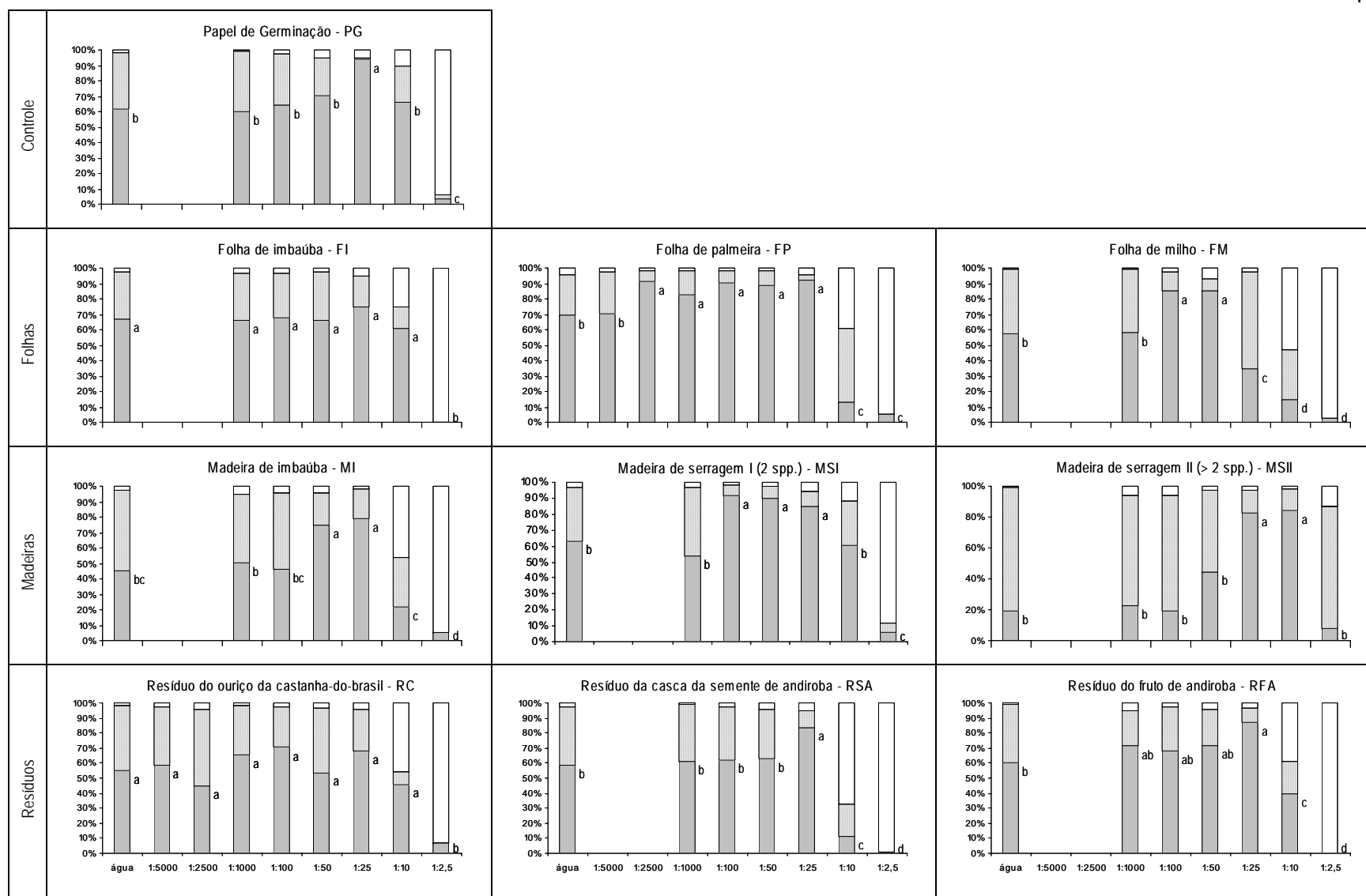


Figura 1.1 – Germinação das sementes e desenvolvimento das plântulas normais (■) e anormais (▨) e sementes não germinadas (□) de tomate, no escuro à 25 °C (± 2 °C), cinco dias após a semeadura sob diferentes concentrações da água de fumaça produzidas pela queima de: papel de germinação (PG); folha de palmeira (FP); folha de imbaúba (FI); folha de milho (FM); madeira de imbaúba (MI); madeira de serragem de duas espécies (MSI); madeira de serragem de mais de duas espécies (MSII); resíduo do ouriço da castanha-da-amazônia (RC); resíduo da casca da semente de andiroba (RSA); resíduo do fruto de andiroba (RFA). Médias das plântulas normais seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Tukey ($P > 0,005$).

As altas concentrações da água de fumaça apresentaram efeito inibidor, mas a concentração nociva pode variar conforme a espécie. Algumas foram mais sensíveis, como o milho (*Zea mays* L.), no qual a concentração 1:250 já foi limitante ao crescimento da raiz (Sparg *et al.*, 2006), do que em *Senecio grandiflorus* P.J. Bergius e *Restio similis* Pillans, as quais foram inibidas na concentração 1:10 (Brown, 1993) e *Syncarpha vestia* (L.) B.Nord. na concentração 1:2 (Brown, 1993; Brown e Van Staden, 1997).

O efeito inibidor da água de fumaça pode ser devido a presença de outros compostos inibidores nas soluções concentradas, sendo inclusive responsável pelo decréscimo no vigor (Lloyd *et al.*, 2000; Verschaeve *et al.*, 2006), pela anormalidade na formação das plântulas ou pelas pontas marrons das raízes (Taylor e Van Staden, 1998).

Nesse estudo foram também observadas anormalidades nas plântulas, principalmente, no sistema radicular (Figura 1.2), conforme descrito por Jain e Van Staden (2006), inclusive com ausência dos pêlos radiculares. Com água destilada, a ocorrência das anormalidades foi $\geq 26\%$ (Figura 1.1).

Em todas as águas de fumaça produzidas, as diluições $\geq 1:25$, o percentual de germinação das sementes de tomate foi alto ($> 90\%$), sem diferenças significativas entre as diluições e as diversas matérias-primas (Figura 1.1). Avaliando somente o percentual de germinação, diversos outros estudos, também não apresentaram efeito positivo da água de fumaça (Tieu *et al.*, 1999; Sparg *et al.*, 2005; Merritt *et al.*, 2006; Kulkarni *et al.*, 2006a; Kulkarni *et al.*, 2007a e c; Stevens *et al.*, 2007).

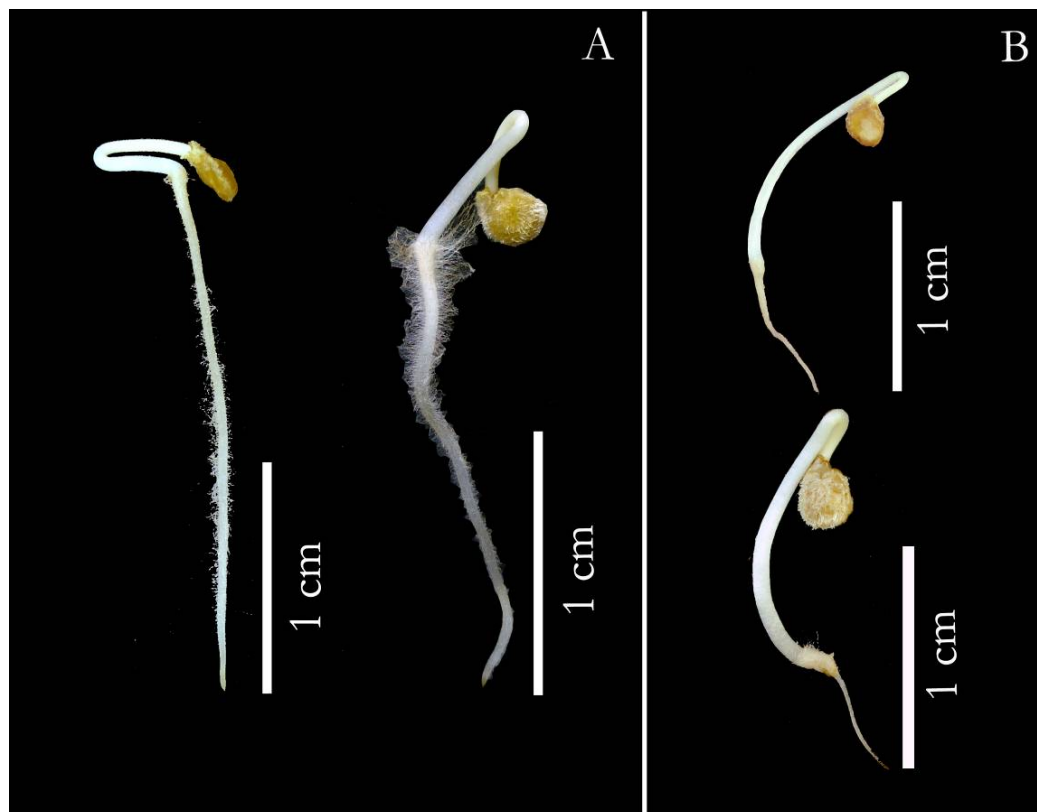


Figura 1.2 – Morfologia das plântulas de tomate, cinco dias após sementeira e desenvolvimento no escuro ($25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$): (A) plântulas normais e (B) plântulas anormais.

Entretanto, avaliando as plântulas normais registrou-se, nesse estudo, um efeito significativo, dependendo da matéria-prima utilizada na produção da água de fumaça, bem como da diluição testada (Figura 1.1). O efeito positivo foi registrado com duas matérias-primas do grupo das folhas (FP – 1:25 a 1:2500; FM – 1:50 e 1:100), com todas do grupo das madeiras (MI – 1:25 e 1:50; MSI – 1:25 a 1:100; MSII – 1:10 e 1:25) e com duas do grupo dos resíduos (RSA – 1:25; RFA – 1:25), além da água de fumaça produzida com PG (1:25) (Figura 1.1). Os resultados confirmaram, para o tomate, que a água de fumaça pode reduzir anormalidades das plântulas, como descrito para as espécies de *Erica* spp. (Brown, 1993). A

anormalidade das plântulas do tomate também foi reduzida ao testar o agente bioativo da água de fumaça (butenolídio) (Jain e Van Staden, 2006).

Sparg *et al.* (2005) observaram que o efeito da fumaça pode ser visualizado melhor nos estágios pós-germinativos, como no comprimento da raiz e do caule, peso e sobrevivência das plântulas. Nesse contexto, foi comparado, entre as diferentes matérias-primas, o efeito da água de fumaça no comprimento da raiz, do hipocótilo e o comprimento total da plântula do tomate (Figura 1.3).

O crescimento da raiz primária foi significativamente maior utilizando como matéria-prima papel de germinação (PG) na concentração 1:25; folhas de palmeira (FP – 1:100 e 1:2500) e de milho (FM – 1:50 e 1:100) e com todas as madeiras (MI – 1:25 e 1:50; MSI – 1:100; MSII – 1:10 e 1:25). As águas de fumaça produzidas com resíduos não causaram efeito positivo (Figura 1.3). Em todos os tratamentos mencionados, o crescimento foi de 2 a 3 vezes maior quando comparado com as suas respectivas testemunhas (água destilada).

Em geral, as águas de fumaça influenciaram menos o crescimento do hipocótilo (Figura 1.3). Um aumento significativo foi observado, somente, nas águas de fumaça produzidas com FP (diluição 1:2500), MI (1:50) e MSI (1:100), mostrando um crescimento até 1,5 vezes maior do que a testemunha (água destilada).

O resultado do comprimento total das plântulas foi similar ao obtido com o comprimento da raiz, sendo significativamente maior com: papel de germinação (PG – 1:25), folha de milho (FM – 1:50) e todas as madeiras (MI – 1:50; MSI – 1:100; MSII – 1:10 e 1:25), com um crescimento até duas vezes maior do que a água destilada.

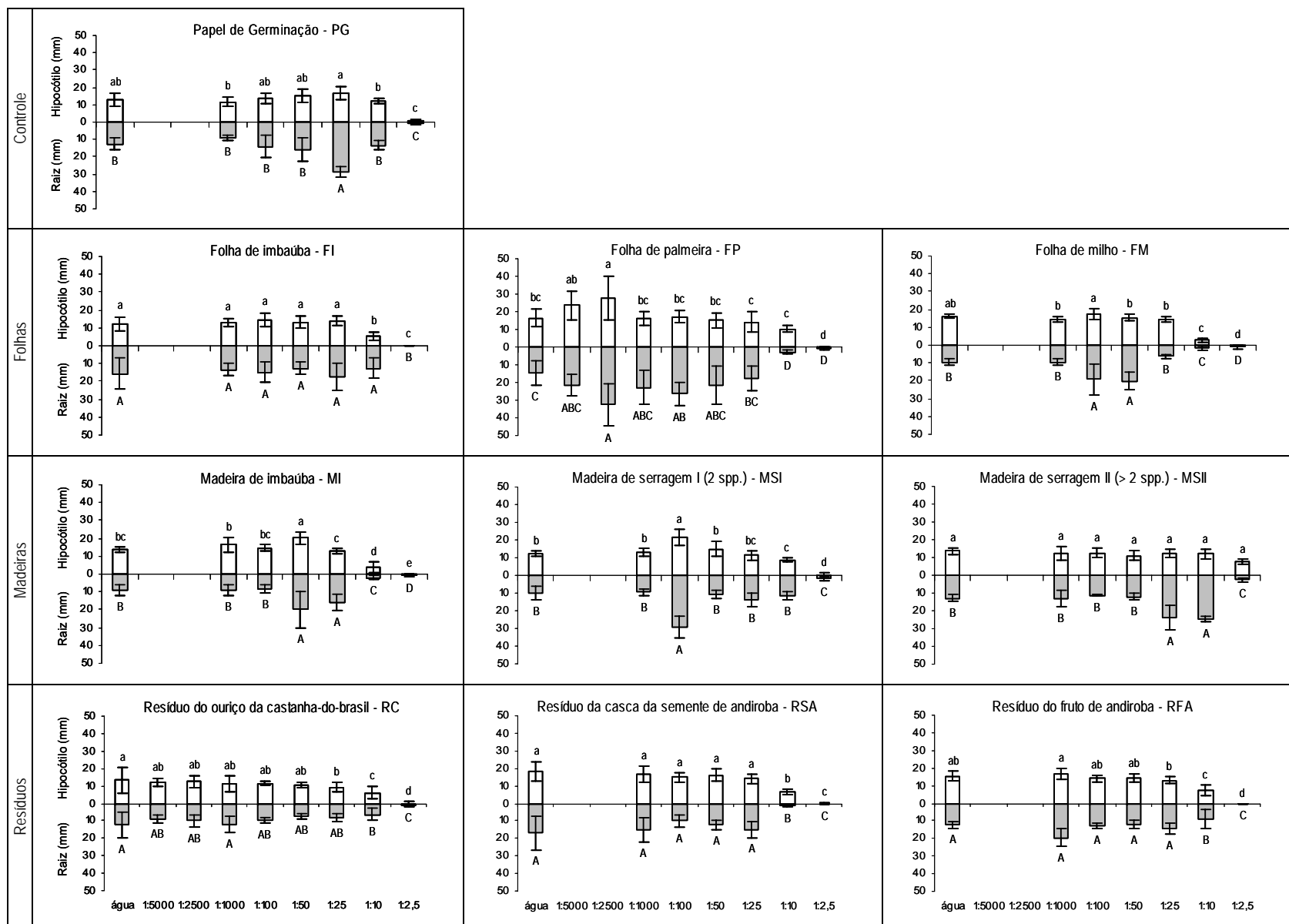


Figura 1.3 – Comprimento da raiz (■) e do hipocótilo (□) das plântulas de tomate, cinco dias após a sementeira e o desenvolvimento no escuro ($25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) sob diferentes concentrações da água de fumaça produzidas pela queima de: papel de germinação (PG); folha de palmeira (FP); folha de imbaúba (FI); folha de milho (FM); madeira de imbaúba (MI); madeira de serragem de duas espécies (MSI); madeira de serragem de mais de duas espécies (MSII); resíduo do ouriço da castanha-da-amazônia (RC); resíduo da casca da semente de andiroba (RSA); resíduo do fruto de andiroba (RFA). Médias dos comprimentos seguidas pela mesma letra (maiúscula para raiz e minúscula para hipocótilo) não diferem entre si pelo Teste de Tukey ($P > 0,005$).

Comparando as três medidas de comprimento (raiz, hipocótilo e total), os resultados desse estudo mostraram claramente que a ação estimuladora da água de fumaça foi mais evidente no sistema radicular, como também descrito para o tomate por Taylor e Van Staden (1998) e Van Staden *et al.* (2006). O comprimento total da plântula de tomate, nesse estudo, foi menos eficiente para detectar o efeito estimulador da água de fumaça do que no comprimento da raiz. Apesar da diferença significativa dos resultados, essa variável apresentou redução na resposta ao estímulo pela água de fumaça por ser o somatório de uma variável sensível (raiz) com uma menos sensível (hipocótilo).

O índice de vigor foi outra variável estudada e seu quociente indica quantas vezes um determinado tratamento foi superior à testemunha (Figura 1.4). Nessa forma de apresentação, destacaram-se FP (1:2500) e MSI (1:100), como matérias-primas mais eficientes no efeito estimulador da água de fumaça, pois duplicaram o vigor em relação a testemunha. O aumento do vigor acima de 1,5 vezes maior que o controle (corresponde ao valor 1 no gráfico) foi observado com: PG (1:25), MI (1:50) e FP (1:5000).

Ficou evidente que a ação da água de fumaça no tomate não pode ser analisada somente pela germinação das sementes. Outros parâmetros de vigor, relacionados com o desenvolvimento da plântula, podem ser mais eficientes, como diversos estudos têm demonstrado (Sparg *et al.*, 2005 e 2006; Van Staden *et al.*, 2006; Kulkarni *et al.*, 2006b, 2007a e c).

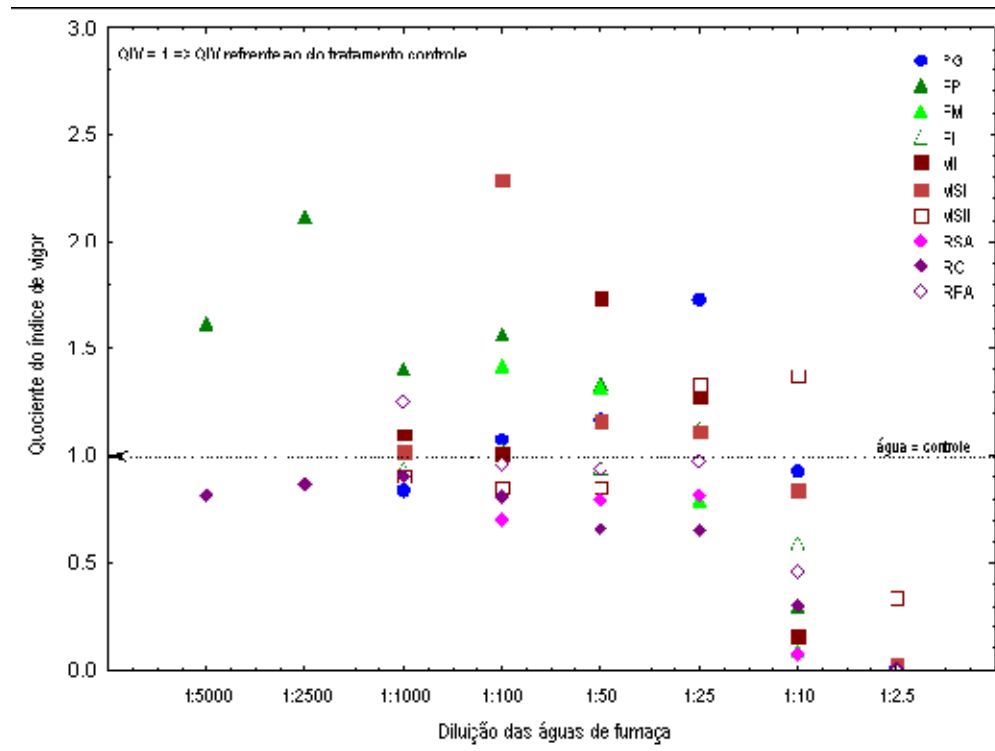


Figura 1.4 – Quociente do Índice de Vigor das plântulas de tomate, cinco dias após a semeadura e o desenvolvimento no escuro ($25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$) sob diferentes concentrações da água de fumaça produzidas pela queima de: papel de germinação (PG); folha de palmeira (FP); folha de imbaúba (FI); folha de milho (FM); madeira de imbaúba (MI); madeira de serragem de duas espécies (MSI); madeira de serragem de mais de duas espécies (MSII); resíduo do ouriço da castanha-da-amazônia (RC); resíduo da casca da semente de andiroba (RSA); resíduo do fruto de andiroba (RFA).

Verificou-se que existe uma hierarquia nas variáveis estudadas quando são relacionadas as diluições que causaram efeito estatisticamente significativo com as diferentes matérias-primas usadas na produção das águas de fumaça (Figura 1.5). A variável “plântula normal” foi a mais robusta na determinação do estímulo positivo da água de fumaça ($n = 17$ – número de diluições com diferença significativa em relação ao controle). A segunda variável foi o “comprimento da raiz” ($n = 10$), que se apresentou mais vantajosa pela maior facilidade e objetividade na sua avaliação.

	1:5000	1:2500	1:1000	1:100	1:50	1:25	1:10	1:2,5	Σ^*
Plântula normal (%)		FP	FP	FP FM MSI	FP FM MI MSI	PG FP MI MSI MSII RSA RFA	MSII		n = 17
Raiz (mm)		FP		FP FM MSIF	FM MI	PG MI MSIIF	MSII		n = 10
Hipocótilo (mm)		FP		MSI	MI				n = 3
Comprimento total (mm)		FP		FM MSI	FM MI	PG MSII	MSII		n = 8
Índice de vigor		FP	RFA	MSI		PG MSII	MSII		n = 6
Índice de vigor das plântulas normais			RFA	FM MSI	FM MI	PG MI			n = 7

Figura 1.5 – Indicação por diluição das águas de fumaça que apresentaram diferença significativa em relação ao seu respectivo tratamento controle (água destilada) nas variáveis estudadas. * número de diluições com diferença significativa em relação ao controle.

Outro ponto avaliado foram as diluições que causaram efeito positivo e significativo nas diversas variáveis, que estão na faixa entre 1:10 e 1:2500. Uma grande amplitude de diluições eficientes também pode ser observada na literatura, como por exemplo 1:10 (*Hypoxis colchicifolia* Bak.; *Acacia mearnsii* De Wild.; *Pinus patula* Schlechtd. & Cham.), 1:100 (*A. mearnsii*; *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden) e 1:1000 (*E. grandis*) (Jäger *et al.*, 1996).

Na Figura 1.5, verificou-se que o efeito estimulador das águas de fumaça manifestou-se prioritariamente nas diluições 1:25 a 1:100, indicando uma faixa de maior da influência positiva das águas de fumaça. Além disso, as águas de fumaça PG, FP, MI e MSI ratificaram os resultados positivos em todas as variáveis (Figura 1.5). Nesse contexto, destacou-se a água de fumaça produzida com folha de palmeira indicando alta produção da substância bioativa.

Brown e Van Staden (1997) relataram que a água de fumaça pode ser armazenada por longos períodos, contudo os autores não indicaram o tempo. Por outro lado, Morris *et al.* (2000) relataram que a perda do efeito estimulador da água de fumaça pode ser causada pelas condições do armazenamento. Por esse motivo, três águas de fumaça (PG, FP e MI), armazenadas a 15 °C no escuro, em recipiente de plástico transparente (tipo PET), foram reavaliadas após um ano (Tabela 1.1).

Tabela 1.1 – Comparação das águas de fumaça produzidas pela queima do papel de germinação (PG), da folha de palmeira (FP) e da madeira de imbaúba (MI) após dois períodos de armazenamento dos extratos, avaliando o comprimento da raiz (mm) de tomate.

armazenamento do extrato		água	1:5000	1:2500	1:1000	1:100	1:50	1:25	1:10	1:2,5
PG	< 10 dias	13 b ±3			9 b ±1	14 b ±6	16 b ±7	29 a ±3	13 b ±3	1 c ±1
	1 ano	9 d ±2			12 cd ±2	13 cd ±3	20 b ±4	25 a ±3	16 c ±2	1 e ±1
FP	< 10 dias	14 c ±7	22 abc ±6	33 a ±12	23 abc ±9	27 ab ±7	22 abc ±11	18 bc ±7	3 d ±1	1 d ±1
	1 ano	16 a ±2	18 a ±5	16 a ±1	17 a ±1	17 a ±2	16 a ±1	8 b ±3	4 c ±1	1 d ±1
MI	< 10 dias	9 b ±3			9 b ±3	8 b ±2	20 a ±10	16 a ±5	2 c ±1	1 d ±1
	1 ano	16 a ±8			17 a ±5	20 a ±7	22 a ±5	22 a ±2	5 b ±2	1 b ±0,3

Médias seguidas pela mesma letra, horizontalmente, não diferem entre si pelo Teste de Tukey ($P > 0,05$).

Verificou-se que o efeito inibidor a altas concentrações foi persistente em todas as águas de fumaça testadas, através da análise do comprimento da raiz.

Porém, somente a água de fumaça PG manteve o efeito estimulador após um ano (Tabela 1.1). Sendo assim, há necessidade de estudos mais direcionados para verificar o tempo de prateleira (prazo de validade) das diluições e dos extratos das águas de fumaça, além das condições que podem aumentar este período.

A produção da água de fumaça foi replicada três vezes para as matérias-primas papel de germinação (PG) e madeira de imbaúba (MI). Verificou-se que o efeito estimulador manifestou-se nas diluições 1:25, 1:50 e 1:100 (Tabela 1.2), confirmando a faixa de maior influência positiva das águas de fumaça, como indicado na Figura 1.5. Porém, variações foram observadas dentro da faixa, indicando a necessidade de determinar novamente, após cada produção, as diluições mais eficientes. A variação dos resultados foi atribuída ao sistema de produção dos extratos, por isso é importante aperfeiçoar o mecanismo para alcançar a padronização.

Tabela 1.2 – Faixa ótima (indicada em cinza) do efeito estimulador das águas de fumaça produzidas pela queima do papel de germinação (PG) e da madeira de imbaúba (MI), analisando as variáveis: comprimento da raiz (mm) e plântula normal (%), comparando três queimas distintas em sementes de tomate. A indicação da melhor diluição (ou diluições) por queima foi feita com base na diferença estatística entre os tratamentos controle e as diluições das águas de fumaça.

	água	1:5000	1:2500	1:1000	1:100	1:50	1:25	1:10	1:2,5
Comprimento da raiz (mm)									
	PG						1ª queima		
						2ª queima			
							3ª queima		
Plântula normal (%)									
	PG						1ª queima		
						2ª queima			
							3ª queima		
MI									
						1ª queima			
							2ª queima *		
							3ª queima		

* As maiores médias observadas nessa queima, porém sem diferença estatística da testemunha (água).

CONCLUSÕES

- Todas as matérias-primas para a produção da água de fumaça apresentaram efeito inibidor em altas concentrações ($\geq 1:25$) sobre a germinação das sementes e/ou desenvolvimento das plântulas de tomate.
- O efeito estimulador da água de fumaça foi mais expressivo nos eventos pós-germinativos, como o comprimento da raiz e índice de vigor das plântulas de tomate.
- A ação positiva da fumaça foi identificada para seis das dez águas testadas: três do grupo das madeiras (MI, MSI e MSII), duas águas do grupo das folhas (FP e FM), além do papel de germinação.
- A maioria das águas de fumaça testada apresentou efeito estimulador nas diluições de 1:25, 1:50 e 1:100, visualizando uma faixa de maior influência positiva e significativa das águas de fumaça. É preciso ressaltar que duas matérias-primas, RFA e FP, apresentaram efeito estimulador em soluções mais diluídas (1:1000 e 1:2500, respectivamente), indicando alta concentração da substância bioativa.
- Nesse estudo ainda não foi possível estabelecer um protocolo de produção e aplicação para os produtores. Pois, mesmo com o controle da origem e da quantidade dos materiais utilizados na produção da água de fumaça, há necessidade do aperfeiçoamento da metodologia para obter soluções com o mesmo efeito estimulador em diluições pré-estabelecidas. Há necessidade, também, de estudos mais aprimorados para determinar o tempo de prateleira (prazo de validade) das soluções, pois, após um ano de armazenamento do concentrado sob refrigeração ($15\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$), a atividade estimuladora foi reduzida.

Tese de doutorado no formato de artigo científico em língua portuguesa,
seguindo as normas da revista *Acta Amazonica*

ARTIGO II

Efeito da água de fumaça sobre a germinação das sementes de espécies arbóreas da Amazônia

Yêda Maria Boaventura Corrêa Arruda¹, Isolde Dorothea Kossmann Ferraz¹

1 – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, AM, Brasil

Autora para correspondência: yedaarruda@gmail.com

RESUMO

A água de fumaça pode estimular a germinação das sementes de espécies de ecossistemas susceptíveis ou não ao fogo. Após a aplicação da água de fumaça, também foram relatadas respostas positivas no vigor das sementes. Com o intuito de avaliar os efeitos da água de fumaça na germinação das sementes, foram selecionadas dez espécies arbóreas de interesse econômico da região Amazônica. Foram utilizadas duas matérias-primas para a produção das águas de fumaça, papel de germinação (PG) e madeira de imbaúba (MI), sendo testadas sete diluições. As sementes foram semeadas sobre o substrato em ambiente com temperatura controlada ($25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$), com exceção das sementes de *Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl., as quais foram semeadas em vermiculita a aproximadamente 2 cm de profundidade e mantidas em Casa de Vegetação (temperatura média de $36\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$). O efeito estimulador à germinação das sementes, com PG e MI, foi significativo em *Cordia goeldiana* Hub., *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb. e *Jacaranda copaia* (Aubl.) D.Don; houve incremento quantitativo, mas não significativo nas taxas de germinação em seis espécies, independentemente da matéria-prima utilizada; somente em *Swietenia macrophylla* King foi observado efeito inibidor significativo na germinação das sementes. A velocidade do processo germinativo foi maior pelo uso da água de fumaça. Houve uma redução do tempo médio de germinação em três espécies: *J. copaia*, *B. excelsa* e *Bellucia grossularioides* (L.) Triana. Em *B. excelsa*, foi registrada a maior redução no tempo médio de germinação, de 108 dias no controle para 76 dias com PG (na diluição 1:25) e para 61 dias com MI (na diluição 1:250). A água de fumaça aumentou a taxa de germinação das sementes florestais e reduziu o tempo médio de germinação, independente do tipo de matéria-prima utilizada para a produção da água de fumaça. O efeito estimulador da água de fumaça foi mais pronunciado em lotes de sementes com baixo vigor e com germinação demorada.

PALAVRAS-CHAVE

Fumaça de origem vegetal; vigor; germinação demorada; *Cecropia*; papel de germinação.

Effect of smoke water on the germination of the tree species in the Amazon

ABSTRACT

Smoke can stimulate the germination of a range of species from ecosystems that may or not be fire sensitive. After application of the smoke, were also reported positive responses in seed vigour. In order to evaluate the effects of smoke water on seed germination, we selected ten tree species of economic value in the Amazon region. We used two raw materials for the production of smoke water, germination paper (PG) and imbauba wood (MI), and tested seven dilutions. The seeds were sown over the substrate at a controlled temperature ($25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$), except for *Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl. seeds, which were buried at 2 cm depth and planted in a greenhouse (average temperature of $36\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$). The stimulatory effect on seed germination, using PG and MI was significant with *Cordia goeldiana* Hub., *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb. and *Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don., there was a quantitative but not significant increase in rates of germination of six species, irrespective of the raw material used. Only with *Swietenia macrophylla* King was there a significant inhibitory effect on germination observed. The speed of germination was increased by the use of smoke. There was a reduction in mean germination time in three species: *J. copaia*, *B. excelsa* and *Bellucia grossularioides* (L.) Triana. In *B. excelsa*, there was a greater reduction in mean germination time of 108 days in control for 76 days with PG (at dilution 1:25) and 61 days of MI (at dilution 1:250). The smoke water increased the rate of germination of forest seeds and reduced the average time of germination, irrespective of the type of raw material used to produce smoke water. The stimulatory effect of smoke water was more pronounced in seeds with low vigour and prolonged germination.

KEYWORDS

Smoke derived from plant; vigour; prolonged germination; germination paper.

INTRODUÇÃO

A relação da floresta Amazônica com o fogo é bastante antiga, pois faz parte da cultura indígena a prática da agricultura itinerante. A ação antrópica é a principal causa da origem do fogo na Amazônia; a prática de limpar a área utilizando o fogo é realizada pelos produtores para a agricultura e pelos pecuaristas para a transformação da floresta em pastagem (Lima *et al.*, 2007). Mesmo sem existir uma relação intrínseca das espécies florestais com o fogo, houve interesse em estudar o efeito da água de fumaça sobre a germinação das sementes de espécies florestais pelo fato do uso extensivo da fumaça como estimulante na germinação de uma variedade de espécies, tanto silvestres quanto cultivadas, independente da sensibilidade ao fogo (Brown e Van Staden, 1997; Van Staden *et al.*, 2000; Light e Van Staden, 2004). A efetiva ação da fumaça é irrestrita a grupos de espécies, alguns estudos revelaram que o efeito positivo foi independente da forma de vida, da extensão geográfica, do habitat, da massa da semente (Crosti *et al.*, 2006), da estratégia reprodutiva e do tipo de dispersão (Brown *et al.*, 2003).

Os benefícios da fumaça em relação a produtividade são vários, como o aumento da taxa de germinação (Brown *et al.*, 2003), aumento da velocidade de crescimento (Van Staden *et al.*, 2007), aumento da formação de raízes secundárias (Kulkarni *et al.*, 2006b), maior comprimento (Sparg *et al.*, 2006) e maior massa fresca de plântulas (Van Staden *et al.*, 2006).

A produção da água de fumaça é relativamente fácil e barata; nela são utilizados equipamentos simples, não precisa de mão-de-obra especializada, o trabalho que requer maior atenção está na fase posterior a produção em si do extrato, que é a diluição do mesmo. Esta é uma solução aquosa que pode facilmente

ser utilizada pelos produtores, tanto pela extensa aplicabilidade quanto pela facilidade da produção.

As águas de fumaça produzidas com matérias-primas da região Amazônica são eficientes, entre elas as oriundas da madeira de imbaúba, da serragem de madeira e das folhas de palmeira, além da água produzida com a queima do papel de germinação (ver Capítulo I dessa Tese). O papel de germinação é a matéria-prima utilizada na produção da água de fumaça para uso em escala laboratorial, por ser onerosa e torna-se inviável para uso em grande quantidade pelos produtores. Foi escolhida a matéria-prima madeira de imbaúba para ser testada em espécies arbóreas de interesse econômico na Região, e também por ser uma madeira fácil de ser encontrada pela sua abundância em todo o Estado.

Com o propósito de estudar um grupo de espécies florestais com a maior variabilidade de caracteres ecofisiológicos. Foram selecionadas espécies de grupos ecológicos distintos (pioneiras e clímax), com diferentes modos de dispersão (pelo vento e por animais), lotes de sementes com diferentes níveis de vigor, sementes com diferentes tipos de dormência (restrições físicas, mecânicas e fisiológicas), sementes com diferentes tolerâncias ao dessecamento (recalcitrantes e ortodoxas) e com diferentes tamanhos, formas e, conseqüentemente, peso da massa fresca.

Esse estudo foi realizado com o objetivo de comparar o efeito das duas matérias-primas, papel de germinação e madeira de imbaúba, na produção da água de fumaça sobre a germinação das sementes e averiguar se há efeito positivo da água de fumaça e se os mesmos estão relacionados com alguma característica ecofisiológica das espécies arbóreas de interesse econômico da floresta Amazônica.

MATERIAL E MÉTODOS

A água de fumaça foi produzida conforme Farley (2005), na proporção de 6 kg de matéria-prima de origem vegetal para 10 L de água destilada (Flematti *et al.*, 2004). Foram selecionadas duas matérias-primas para a produção: papel de germinação fino (Germitest®), denominado posteriormente pela sigla PG, e madeira de imbaúba (*Cecropia palmata* Willd.), denominada MI. A madeira foi cortada em pequenas partes e secada em estufa, a 105 °C por 24 - 48 h, para posteriormente ser queimada. De cada extrato foram testadas, geralmente, sete diluições: 1:1000, 1:500, 1:250, 1:100, 1:50, 1:25 e 1:10.

Foram selecionadas espécies arbóreas da floresta de terra firme, de potencial econômico, principalmente, madeireiro. Na Tabela 2.1 estão reunidas informações ecofisiológicas das sementes das espécies, como o tipo de dispersão, de dormência, local das reservas, peso da massa fresca e o teor de água. O grau de umidade foi determinado com sementes inteiras, secando em estufa sem ventilação forçada a 75°C até atingir massa constante; o cálculo, em porcentagem, foi realizado com base na massa fresca das sementes, a partir da equação: Teor de água = [(massa fresca – massa seca / massa fresca) x 100] (%). O teor de água das sementes de *Bellucia grossularioides* (L.) Triana foi obtido com base no peso de dez amostras com 5 g.

Tabela 2.1 - Características gerais sobre os aspectos fisiológicos e ecológicos das dez espécies selecionadas para o estudo com a fumaça.

<i>Espécie</i>	<i>Nome comum</i>	<i>Família</i>	<i>Tipo de dispersão</i>	<i>Tipo de dormência</i>	<i>Local das reservas</i>	<i>Massa fresca (g)</i>	<i>Teor de água (%)</i>
<i>Bellucia grossularioides</i> (L.) Triana	Goiaba-de-anta	Melastomataceae	zoocórica ¹	não apresenta ¹		0,0002 ²⁰	8,6 (± 0,2)
<i>Ochroma pyramidale</i> (Cav. Ex Lam.) Urb.	Pau-de-balsa	Malvaceae	anemocórica ²	impermeabilidade do tegumento ¹⁰	endosperma	0,007 (± 0,001)	7,5 (± 4,4)
<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D.Don subsp. <i>copaia</i> Greene	Caroba	Bignoniaceae	anemocórica ³	fotoblastismo positivo ¹⁰	cotilédones	0,012 (± 0,003)	9,9 (± 1,0)
<i>Tabebuia serratifolia</i> (G. Don) Nichols.	Ipê-amarelo	Bignoniaceae	anemocórica ⁴	não apresenta ¹¹	cotilédones	0,016 (± 0,006)	21,4 (± 5,7)
<i>Cordia goeldiana</i> Hub.	Freijó	Boraginaceae	anemocórica ⁵	não apresenta		0,017 (± 0,002)	13,2 (± 1,2)
<i>Enterolobium schomburgkii</i> Benth.	Orelha-de-macaco	Fabaceae	zoocórica ⁶	impermeabilidade do tegumento ¹²	cotilédones ¹⁷	0,069 (± 0,014)	9,2 (± 2,6)
<i>Cariniana micrantha</i> Ducke	Castanha-de-macaco	Lecythidaceae	anemocórica ⁷	não apresenta ¹³	eixo embrionário ¹³	0,094 (± 0,038)	21,6 (± 2,0)
<i>Swietenia macrophylla</i> King	Mogno	Meliaceae	anemocórica ⁸	não apresenta ¹⁴	cotilédones ¹⁸	0,542 (± 0,115)	7,9 (± 0,9)
<i>Schizolobium amazonicum</i> Huber ex Ducke	Paricá	Fabaceae	barocórica e anemocórica ⁹	impermeabilidade do tegumento ¹⁵	endosperma	0,923 (± 0,135)	4,0 (± 0,9)
<i>Bertholletia excelsa</i> Humb. & Bonpl.	Castanha-da-amazônia	Lecythidaceae	barocórica e zoocórica ⁸	embrião imaturo e restrição mecânica do tegumento ¹⁶	hipocótilo ¹⁹	12,933 (± 5,103)	38,1 (± 11,2)

1 - Lorenzi (1998)	9 - Carvalho (2007)	17 - Gunn (1984)
2 - Sandi e Flores (2002)	10 - Oliveira e Ferraz (2003)	18 - Rocas (1988)
3 - Gentry (1992)	11 - Ferraz <i>et al.</i> (2004)	19 - Comer (1976)
4 - Ferreira <i>et al.</i> (2004)	12 - Souza e Varela (1989)	20 - Viscarra (2006)
5 - Kanashiro e Yared (1980)	13 - Imakawa (1996)	
6 - Corrêa (1926)	14 - Lima Júnior e Galvão (2005)	
7 - Prance e Mori (1979)	15 - Sousa <i>et al.</i> (2005)	
8 - Alexiades e Shanely (2004)	16 - Kainer <i>et al.</i> (1999)	

Os propágulos das dez espécies arbóreas foram coletados no estado do Amazonas, com exceção de *Swietenia macrophylla* King (estado do Pará) e de *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke (estado do Mato Grosso). Quando necessário, foi realizada a extração das sementes do fruto antes do armazenamento (a 10 °C) (Tabela 2.2). Foram realizados tratamentos pré-germinativos nas sementes das espécies de *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb., as quais foram escarificadas manualmente com auxílio de lixa; em *Enterolobium schomburgkii* Benth. e *S. amazonicum*, o tegumento das sementes foi perfurado com agulha quente na porção mediana da semente; em *Cariniana micrantha* Ducke e *S. macrophylla*, as sementes tiveram suas alas retiradas manualmente; e em *Bertholletia excelsa* Humb & Bonpl., as sementes foram armazenadas em areia úmida a temperatura ambiente e, no momento, da semeadura foi feita a retirada completa do tegumento (Tabela 2.2).

Os testes de germinação das sementes foram realizados em condições controladas de temperatura ($25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$), com exceção da espécie *B. excelsa*, em que o teste de germinação foi realizado na Casa de Vegetação (temperatura média mensal mínima foi $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ e a média máxima $36\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$). Diferentes recipientes e substratos foram usados nos experimentos dependendo do tamanho das sementes (Tabela 2.2). As sementes foram semeadas sobre substrato, com exceção de *B. excelsa* que foi coberta com uma camada de 2 cm de vermiculita. Os substratos foram umedecidos com água destilada (controle) ou com água de fumaça (PG e MI) e reumedecidos, quando necessário.

Tabela 2.2 - Informações gerais sobre a montagem dos experimentos de germinação das dez espécies selecionadas.

<i>Nome comum</i>	<i>Período de armazenamento</i>	<i>Tratamento pré-germinativo</i>	<i>Repetições x Sementes</i>	<i>Substrato</i>	<i>Recipiente</i>	<i>Dimensões do recipiente (cm)</i>
Goiaba-de-anta	1 ano	sem	5 x 50-100	papel	placa de Petri	8,5 x 8,5 x 6,0
Pau-de-balsa	5 meses	escarificação manual	5 x 20	vermiculita	caixa plástica	11,0 x 11,0 x 3,0
Caroba	1 mês	sem	5 x 20	papel	caixa plástica	21,0 x 11,5 x 4,5
Ipê-amarelo	11 dias	sem	4 x 25	papel	rolo de papel	38,0 x 28,0
Freijó	5 meses	sem	5 x 20	vermiculita	pirex de vidro	24,5 x 16,0 x 6,0
Orelha-de-macaco	8 anos	perfuração do tegumento	4 x 25	papel	rolo de papel	38,0 x 28,0
Castanha-de-macaco	11 dias	retirada da ala	4 x 25	vermiculita	caixa plástica	21,0 x 11,5 x 4,5
Mogno	7 meses	quebra da ala	4 x 25	vermiculita	pirex de vidro	24,5 x 16,0 x 6,0
Paricá	4 meses	perfuração do tegumento	4 x 25	vermiculita	pirex de vidro	24,5 x 16,0 x 6,0
Castanha-da-amazônia	7 meses	7 meses em areia úmida e retirada total do tegumento	3 x 25	areia e vermiculita	caixa plástica	30,0 x 20,0 x 10,0

A germinação foi observada a cada dois dias até a estabilização do processo para cada espécie. As sementes foram consideradas germinadas, no Laboratório, quando a raiz primária atingiu 2 mm de comprimento e, na Casa de Vegetação, quando foi observada a emergência da parte-aérea acima do substrato. As variáveis mensuradas foram: porcentagem final de germinação das sementes, tempo médio de germinação e tempo até 50 % das sementes germinadas: $T_{50\%} = t_{1/2}$ ∴ mediana (Santana e Ranal, 2004). Ao término do experimento foi realizado o teste de corte para determinação das sementes morfológicamente intactas ou mortas.

O efeito das diferentes concentrações da água de fumaça e das matérias-primas sobre as variáveis estudadas foi analisado pelo teste de Wilcoxon a 5% de probabilidade.

RESULTADOS

Foram observados três efeitos distintos da água de fumaça sobre a germinação das sementes: efeito estimulador, neutro ou inibidor, independente da matéria-prima utilizada na produção da água de fumaça. A inibição promovida pela água de fumaça à germinação das sementes foi somente observada em uma espécie – mogno (*S. macrophylla*). Nessa espécie, com ambas as águas de fumaça, a germinação foi menor do que o controle, em todas as concentrações; com MI a inibição foi significativa entre as diluições 1:10 e 1:50 (Figura 2.1). A fumaça causou, além da baixa germinação, anormalidades na raiz primária, atingindo até 12 % com PG e 8 % com MI das sementes germinadas.

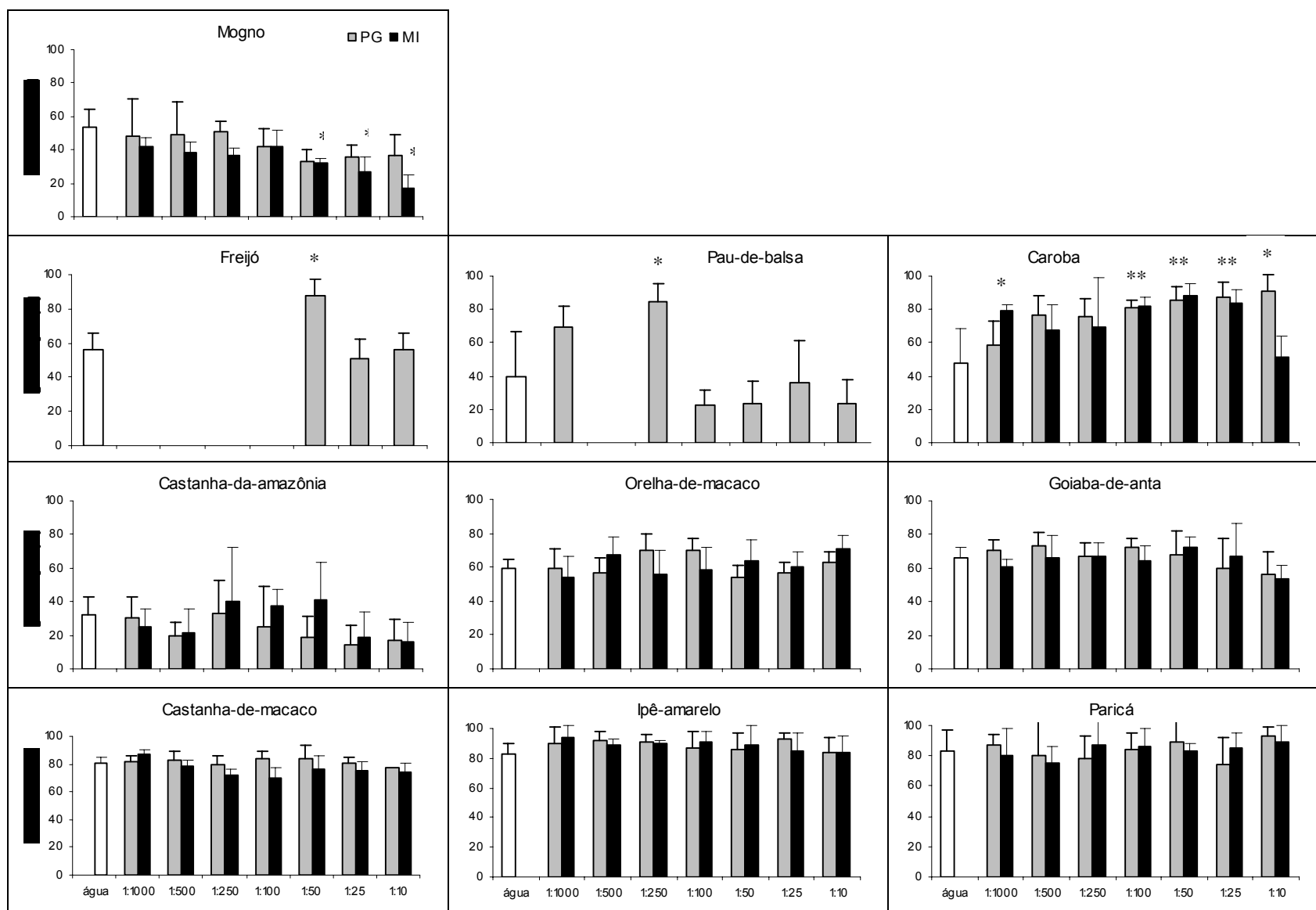


Figura 2.1 – Germinação das sementes de dez espécies arbóreas da região Amazônica, em diferentes concentrações das águas de fumaça produzidas pela queima de papel de germinação (PG - □) e madeira de imbuúba (MI - ■). Os resultados foram comparados com seus respectivos controle (□). * Médias que diferiram do controle pelo Teste de Wilcoxon (5 % de probabilidade).

O efeito estimulador da fumaça na germinação das sementes foi significativo em três espécies: feijó, pau-de-balsa e caroba (Figura 2.1). Em feijó, a germinação das sementes foi significativamente maior ($88 \% \pm 9,1$) na diluição 1:50 com PG em comparação ao controle ($56 \% \pm 9,6$). Enquanto em pau-de-balsa, a diluição 1:250, com PG, apresentou aumento significativo ($88 \% \pm 11,1$) em relação ao controle ($40 \% \pm 27,0$). Contudo, em caroba, o efeito estimulador da fumaça foi observado com ambas as matérias-primas, com PG entre 1:10 e 1:100 e com MI entre as diluições 1:25 e 1:100 e na diluição 1:1000, atingindo uma germinação $\geq 79 \%$, em comparação ao controle ($48 \% \pm 20,5$).

Nas demais espécies, registrou-se aumento na porcentagem de germinação das sementes com algumas diluições, porém sem diferença significativa (Figura 2.1).

Comparando as duas matérias-primas utilizadas na produção da água de fumaça, observou-se que ambas podem causar incremento na germinação das sementes das espécies selecionadas. Com PG, o efeito estimulador foi, geralmente, superior quantitativamente do que com MI, porém sem diferença estatística entre as matérias-primas. Comparando as diluições, constatou-se, que as maiores taxas de germinação foram alcançadas com diferentes concentrações, possivelmente, em função das características morfo-fisiológicas e da constituição química das sementes de cada espécie.

A ação positiva da água de fumaça na germinação das sementes pode ser observada em nove espécies, quando se comparou o valor do controle com a maior taxa de germinação alcançada com cada matéria-prima (Figura 2.2). Em cinco espécies, o incremento relativo foi $\geq 18 \%$, tanto com PG quanto com MI, com destaque para pau-de-balsa cujo incremento na porcentagem de germinação atingiu 114% na diluição 1:250 em comparação ao controle. Nas demais espécies, o

incremento relativo variou entre 4 % e 13 %, independente das matérias-primas: paricá (PG – 12 % e MI – 7 %); ipê-amarelo (PG – 12 % e MI – 13 %); castanha-de-macaco (PG – 4 % e MI – 7 %) e goiaba-de-anta (PG e MI – 10 %).

Nas sementes de feijó, pau-de-balsa e caroba, nas quais a água de fumaça estimulou significativamente a germinação, verificou-se uma germinação do controle de 40 % a 56 %, indicando baixo vigor do lote das sementes.

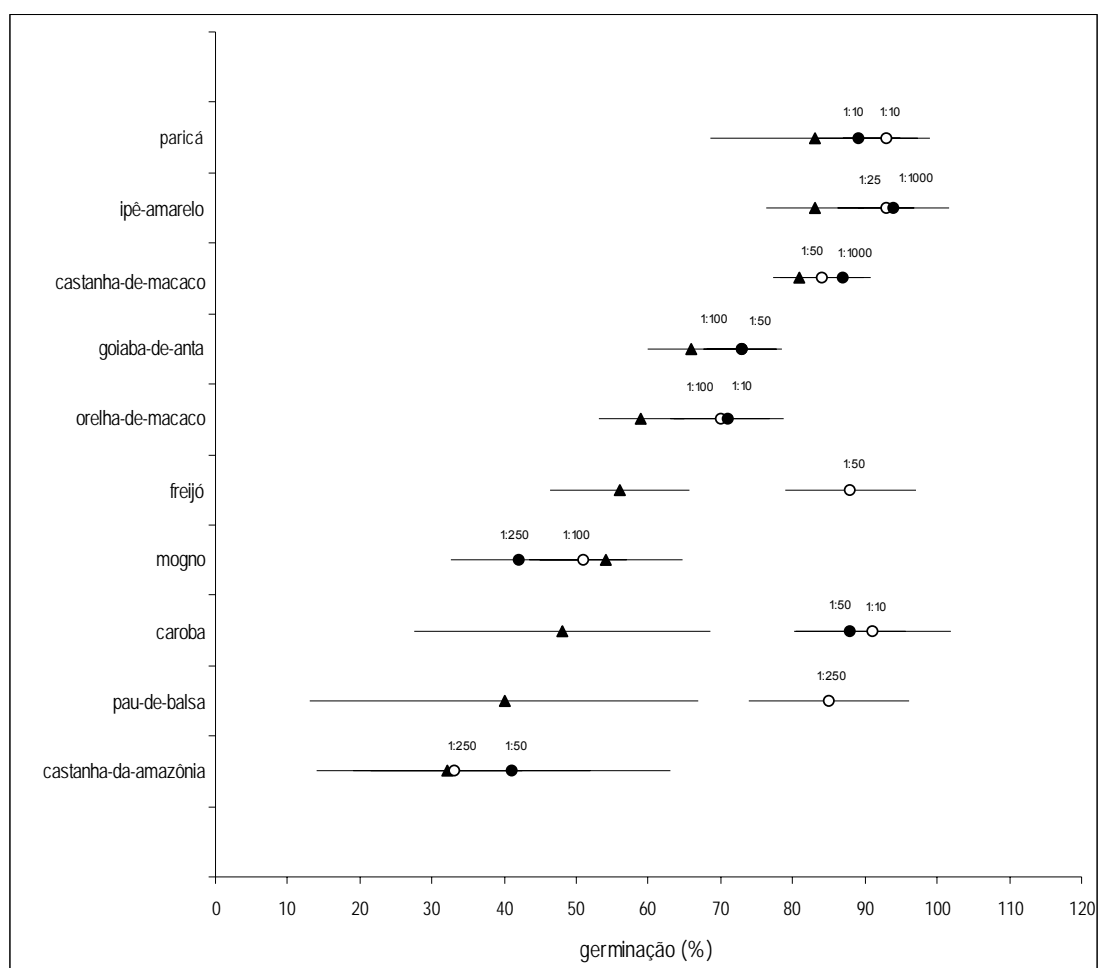


Figura 2.2 – Efeito da água de fumaça na germinação das sementes de dez espécies arbóreas da região Amazônica, pela comparação entre o controle (▲) e a maior germinação alcançada com cada matéria-prima: papel de germinação (PG – ○) e madeira de imbaúba (MI – ●), indicando a respectiva diluição. A média da germinação das sementes foi representada pelos símbolos e o desvio-padrão pelas linhas.

Na análise da velocidade do processo germinativo, verificou-se que o tempo médio de germinação foi reduzido pela aplicação da fumaça em três espécies: goiaba-de-anta, caroba e castanha-da-amazônia (Figura 2.3). Em goiaba-de-anta, ocorreu redução no tempo médio de germinação com PG em todas as diluições e com MI, somente, em duas diluições (1:250 e 1:500). Em castanha-da-amazônia, a redução foi constatada em ambas as fumaças e em quase todas as diluições, entretanto, as diferenças não foram significativas devido a grande dispersão da germinação no tempo em cada tratamento. Em caroba, a redução do tempo de germinação foi expressiva em todas as concentrações com PG. A fumaça de MI não apresentou efeito entre a diluição 1:100 e 1:1000, mas causou aumento no tempo médio de germinação com concentrações mais altas, sendo significativo na diluição 1:10.

Nas demais espécies, não houve influência nem das matérias-primas nem das diluições testadas da fumaça na velocidade do processo germinativo.

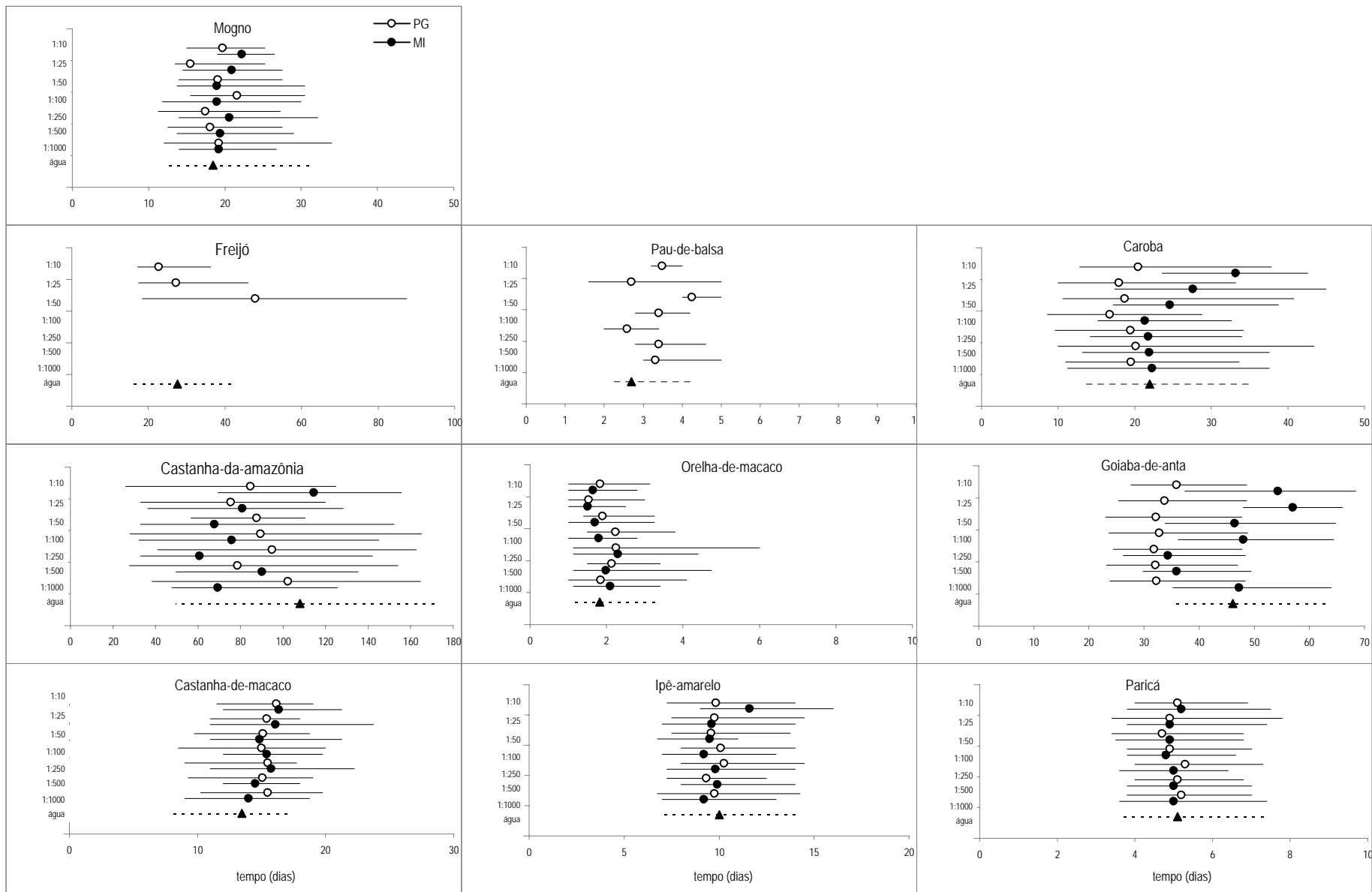


Figura 2.3 – Tempo médio (símbolo), inicial e final (linha) da germinação das sementes de dez espécies arbóreas da região Amazônica, semeadas na luz a 25 °C (± 2 °C) na luz e hidratadas com água (▲) ou diferentes concentrações das água de fumaça produzidas pela queima de papel de germinação - PG (○) e madeira de imbaúba - MI (●). Os resultados foram comparados com seus respectivos controle (▲).

Com a avaliação do tempo de germinação de 50 % das sementes germináveis, foi possível eliminar a influência da distribuição temporal da germinação. Conforme a Figura 2.2, foi selecionada a maior taxa de germinação nos tratamentos de cada espécie e feita a comparação do $T_{50\%}$ com o do controle (Figura 2.4).

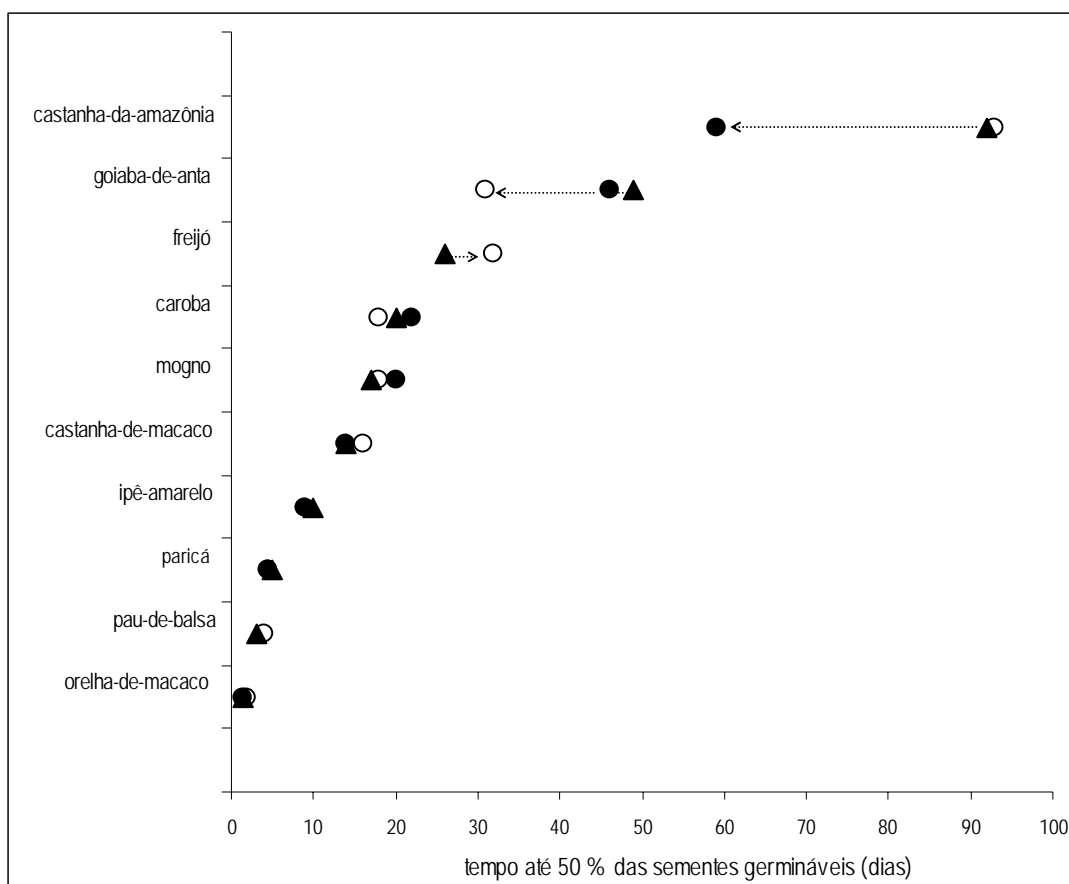


Figura 2.4 – Tempo até 50 % das sementes germináveis das dez espécies arbóreas da região Amazônica, comparando o $T_{50\%}$ do controle (▲) com o da maior germinação em cada tratamento: papel de germinação (PG – ○) e madeira de imbaúba (MI – ●).

Verificou-se que na castanha-da-amazônia e goiaba-de-anta houve redução efetiva no tempo de germinação devido à ação da água de fumaça, pois as mesmas apresentaram germinação distribuída ao longo do tempo (distribuição platicúrtica).

Caroba foi outra espécie que apresentou germinação demorada, porém foi pequeno o efeito da fumaça na redução do $T_{50\%}$. Nas demais espécies, cuja germinação foi mais rápida, o efeito da água de fumaça não foi perceptível.

No lote de sementes de feijó, houve aumento tanto no tempo médio de germinação quanto no $T_{50\%}$ na diluição 1:50. Isso ocorreu devido uma quarta fase de germinação observada no lote de sementes, após o tratamento com fumaça (Figura 2.5).

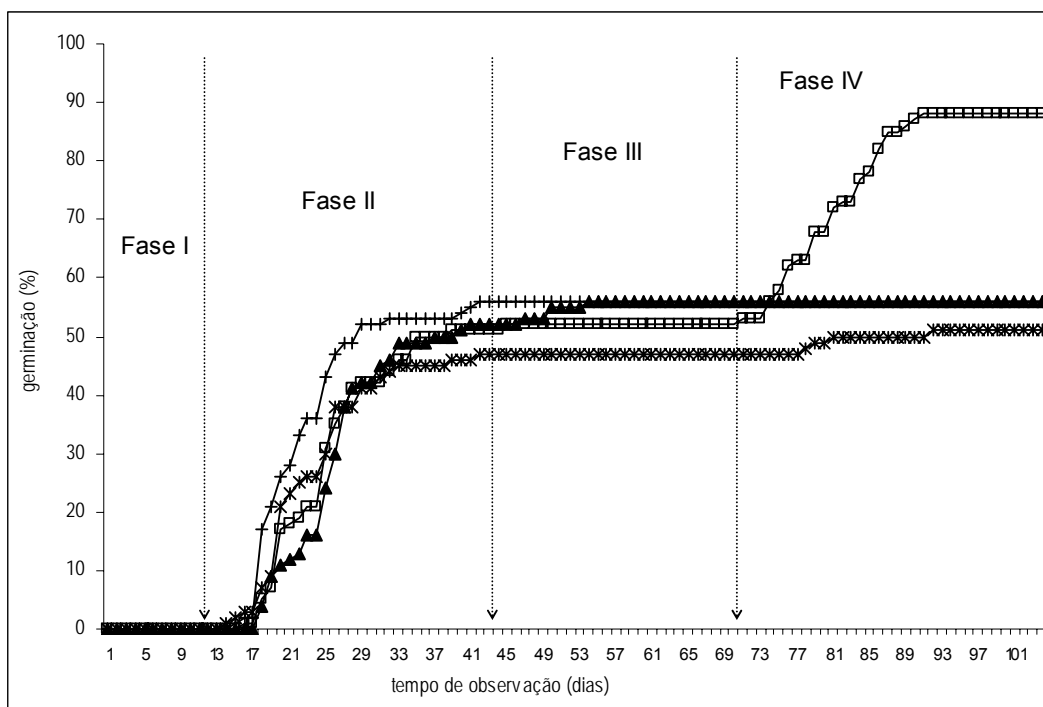


Figura 2.5 – Curva de germinação das sementes de feijó (*Cordia goeldiana* Hub. – Boraginaceae), semeadas na luz à 25 °C (± 2 °C), hidratadas com água (▲) ou com diferentes concentrações da água de fumaça produzida pela queima de papel de germinação – PG: 1:10 (+); 1:25 (*) e 1: 50 (□).

Na fase I, foi a fase do crescimento lento, de aparente ausência de mudanças (“fase lag”) que perdurou 13 dias; na fase II, a fase do crescimento rápido, teve início a germinação em todas as diluições e no controle, basicamente a velocidade do

processo foi similar em todos os tratamentos e no controle, com pequeno incremento na diluição 1:10; na fase III, constatou-se pouca atividade germinativa, aos 54 dias ocorreu a completa estagnação do processo, a porcentagem de germinação foi similar entre o controle (56 %) e as demais diluições (1:10 – 56 %; 1:25 – 47 % e 1:50 – 52 %); na fase IV, após 20 dias, notou-se uma segunda ação da fumaça, na qual ocorreu uma reativação do processo germinativo das sementes semeadas na diluição 1:50, a fase III na diluição 1:50 foi o início do segundo período da “fase lag” Com isso, houve um aumento no tempo médio e na taxa de germinação (88 %), o que ocasionou uma diferença significativa em relação ao controle nos dois parâmetros.

DISCUSSÃO

A água de fumaça pode se apresentar como um importante estimulador natural para germinação das sementes de espécies de ecossistemas susceptíveis e não-susceptíveis ao fogo (Light e Van Staden, 2004). Os efeitos positivos na germinação das sementes abrangem espécies de famílias que variam nas exigências ecológicas, na estratégia reprodutiva, no tamanho e na morfologia da semente (Dixon e Roche, 1995). Nesse estudo, em que foram selecionadas dez espécies com características ecofisiológicas distintas, ocorreram respostas variadas no padrão germinativo das sementes com a aplicação da fumaça. Em três espécies, freijó, pau-de-balsa e caroba, a água de fumaça aumentou significativamente a germinação das sementes. Em seis espécies, castanha-da-amazônia, orelha-de-macaco, goiaba-de-anta, castanha-de-macaco, ipê-amarelo e paricá, a ação da

água de fumaça foi muito sutil no incremento da germinação em comparação ao controle, podendo inclusive considerar neutralidade na ação nas três últimas espécies mencionadas. Somente em mogno foi constatado efeito inibidor da água de fumaça sobre a germinação das suas sementes, como conhecido em outras espécies, por exemplo em *Lamium purpureum* L. (Adkins *et al.*, 2002).

Respostas variadas na germinação são comuns no estudo da fumaça, tanto em espécies da mesma família (Brown, 1993) quanto do mesmo gênero (Kulkarni *et al.*, 2007c). As respostas variam de fortemente, moderadamente, levemente estimuladas, não afetadas ou inibidas pela água de fumaça, como nas espécies de dicotiledôneas herbáceas e nativas da Austrália, ao contrário das monocotiledôneas que foram fortemente estimuladas (Adkins *et al.*, 2002). Na região central do Chile, a germinação de espécies lenhosas foi pouco estimulada pela fumaça. Das 18 espécies lenhosas nativas, somente *Acacia caven* (Mol.) Molina, *Baccharis vernalis* F.H. Hellwig e *Trevoa quinquenervia* (Gill. et Hook.) Johnst. apresentaram maior germinação com a fumaça (Gomez-Gonzalez *et al.*, 2008).

Estudos desenvolvidos por Sparg *et al.* (2005) mostraram que o efeito estimulador pela água de fumaça pode não ser expressivo na taxa de germinação, mas sim em outras variáveis relacionadas com o vigor, como em *Albuca pachyklamys* L., *Merwillia natalensis* (Planchon) Speta e *Tulbaghia violaceae* Harv. Nas espécies florestais deste estudo, foi possível visualizar o efeito positivo da fumaça no tempo médio de germinação, em castanha-da-amazônia e goiaba-de-anta, nas quais, pelo percentual de germinação, o efeito estimulador foi discreto, e confirmar a estimulação com a água de fumaça na espécie de caroba. Quando foi feita a análise com outra variável que também expressa a velocidade do processo – o $T_{50\%}$, confirmou-se a efetiva redução no tempo de germinação em castanha-da-

amazônia, goiaba-de-anta e caroba; essa análise representou de forma mais clara o efeito positivo da fumaça, pois foi possível excluir a influência temporal da germinação.

Constatou-se que lotes com sementes de baixo vigor (freijó, caroba e pau-de-balsa) e/ou com germinação demorada (castanha-da-amazônia e goiaba-de-anta) foram mais beneficiados pela ação positiva da fumaça, quando foi feita a relação do efeito da água de fumaça com as características do lote de sementes e as variáveis taxa e tempo médio de germinação.

Nesse estudo, além das informações do efeito da água de fumaça relativas à germinação das sementes, foi avaliada a origem da matéria-prima para a produção da água de fumaça. Houve pouca diferença no estímulo à germinação e redução no tempo médio de germinação entre as matérias-primas escolhidas para o estudo (papel de germinação – PG e madeira de imbaúba – MI); o que permite o uso de MI, uma matéria-prima mais barata em comparação a PG, para estudos futuros. Quanto às diluições, não foi possível determinar uma concentração mais eficaz, pois, dependendo da espécie, uma concentração foi mais efetiva do que outra. Esses resultados diferiram dos estudos realizados com tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), apresentados no Capítulo I dessa tese, em que o estímulo à germinação das sementes e o aumento do vigor dependeram da matéria-prima utilizada na produção da água de fumaça e da diluição utilizada. Foram testadas nove águas de fumaça, produzidas com diferentes madeiras (madeira de imbaúba, de serragem de espécies de louro e de serragem de espécies de angelim-vermelho e louro-gamela) e folhas (folha de palmeira e de milho), além do papel de germinação, que apresentaram estímulos significativos. Nesse mesmo experimento, visualizou-se uma faixa de

influência positiva e significativa das águas de fumaça, nas diluições de 1:25, 1:50 e 1:100.

Outros estudos revelaram também a variação nas respostas à germinação devido o tipo de matéria-prima utilizada na produção da água de fumaça (Brown, 1993; Landis, 2000) e da diluição da água de fumaça aplicada nas sementes (Tieu *et al.*, 1999). Por exemplo, extratos da água de fumaça preparados com folhas secas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, *Pinus patula* Schlechtd. & Cham., *Hypoxis colchicifolia* Bak. e *Acacia mearnsii* De Wild. e papel (Kimberley-Clark Kimwipes) promoveram a germinação das sementes de alface nas diluições 1:10 e 1:100 dependendo da matéria-prima utilizada (Jäger *et al.*, 1996).

Outro aspecto que deve ser levado em consideração é a susceptibilidade das sementes ao efeito inibidor das altas concentrações da fumaça. O tempo médio de germinação foi uma variável bastante sensível para reconhecer os efeitos da água de fumaça, pois além de ser possível confirmar o efeito estimulador em determinadas diluições, também foi possível identificar o efeito inibidor de altas concentrações (1:10) sobre algumas espécies, como em caroba, goiaba-de-anta e castanha-de-macaco. Pela taxa de germinação, somente o mogno apresentou uma resposta ao efeito inibidor significativo da água de fumaça. As espécies arbóreas parecem ser menos susceptíveis à inibição da germinação pelas altas concentrações de água de fumaça (1:10), bem como as anormalidades morfológicas no sistema radicular; diferentemente, de outras espécies, cujas altas concentrações de água de fumaça podem inibir a germinação das sementes (Roche *et al.*, 1997b), como na concentração 1:2 que foi limitante para *Syncarpha vestita* (L.) B. Nord. (Brown, 1993; Brown e Van Staden, 1997), e em outras espécies na concentração 1:10, como em *Senecio grandiflorus* P.J. Bergius, *Restio similis* Pillans (Brown,

1993) e *Lamium purpureum* L. (Adkins *et al.*, 2002). Algumas espécies agrônômicas parecem ser mais sensíveis a água de fumaça, como o milho na concentração 1:250 (Sparg *et al.*, 2006) e o tomate na concentração 1:50 (Taylor e Van Staden, 1998).

É imprescindível incluir nas análises da fumaça variáveis que estejam relacionadas com o vigor para uma avaliação mais precisa da ação da fumaça.

Esse estudo mostrou a aplicabilidade da fumaça em sementes de espécies florestais, utilizando para a produção da água de fumaça matéria-prima regional e de fácil obtenção, com resultados efetivos em lotes de sementes com baixo vigor e germinação demorada. Visualizou-se uma aplicação futura da água de fumaça, especialmente, em espécies com problemas na germinabilidade, relacionadas com o baixo vigor e germinação dispersa ao longo do tempo, proporcionando o uso de uma maior variedade de espécies pelo produtor e pelo fornecedor comercial.

CONCLUSÕES

- Houve pouca diferença sobre o efeito causado na germinação das sementes das espécies arbóreas amazônicas, quando foram comparadas as duas matérias-primas utilizadas na produção da água de fumaça (papel de germinação e madeira de imbaúba). Também, não existiu um padrão da diluição mais eficaz ao estímulo à germinação das sementes.
- O efeito estimulador da água de fumaça foi constatado sobre a germinação das sementes, com aumento significativo nas sementes de freijó, pau-de-

balsa e caroba, e sobre o tempo de germinação, com redução efetiva no $T_{50\%}$ das sementes germináveis de castanha-da-amazônia e goiaba-de-anta.

- O efeito positivo da fumaça em sementes florestais não está, associado à grupo de espécies considerando aspectos fisiológicos e ecológicos, como sementes de tamanho pequeno ou grande; tolerantes ou não ao dessecação; clímax ou pioneiras.
- A sensibilidade as altas concentrações (1:10) de água de fumaça foi baixa nas sementes florestais, somente as espécies com sementes pequenas foram mais afetadas.
- Os resultados indicam continuar os estudos do efeito da água de fumaça em sementes florestais com baixa capacidade germinativa, baixo vigor e com germinação demorada.

Tese de doutorado no formato de artigo científico em língua portuguesa,
seguindo as normas da revista *Acta Amazonica*

ARTIGO III

Água de fumaça na germinação das sementes de *Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don. – árvore pioneira da Amazônia

Yêda Maria Boaventura Corrêa Arruda¹, Isolde Dorothea Kossmann Ferraz¹

1 – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, AM, Brasil

Autora para correspondência: yedaarruda@gmail.com

RESUMO

Jacaranda copaia (Aubl.) D. Don. (Bignoniaceae) é uma espécie nativa da Amazônia com ampla aplicabilidade no setor madeireiro e promissora para a recuperação de áreas degradadas. Suas sementes necessitam de luz e de temperatura constante para a germinação e possuem curta longevidade. A aplicação da água de fumaça tem superado o fotoblastismo, além de aumentar o vigor das plântulas. Com o objetivo de reduzir as exigências das sementes para a germinação de *J. copaia*, foi avaliada a aplicação da água de fumaça (1:50 – oriunda da madeira de *Cecropia palmata* Willd.) nas sementes, em três regimes de temperatura: constante de 25 °C, amplitude térmica de 10 °C (20-30 °C) e de 20 °C (15-35 °C), na luz e no escuro. Nas condições testadas, a água de fumaça não conseguiu superar a necessidade de luz e de temperatura constante para a germinação das sementes. Porém, reduziu significativamente o tempo médio de germinação das sementes de 31 dias (controle) para 22 dias, nas condições ideais de germinação. O valor máximo de germinação (T) das sementes umedecidas com água de fumaça foi 1,6 vezes maior (T = 0,343 – 22 dias) em comparação as sementes umedecidas com água destilada (T = 0,209 - 26 dias). Após 70 dias da embebição no escuro, as sementes mantidas a 25°C com água destilada e com água de fumaça apresentaram taxa de germinação similar a do controle, quando transferidas para condições ideais (luz; 25 °C). O maior efeito foi observado no tempo médio de germinação, com redução de 31 dias (controle) para 10 dias das sementes embebidas no escuro com água de fumaça. O efeito significativo da água de fumaça sobre as sementes de *J. copaia* foi na redução do tempo médio de germinação das sementes, inclusive após a embebição no escuro.

PALAVRAS-CHAVE

Fotoblastismo; quiescência; embebição no escuro; alternância de temperatura; espécie florestal.

Smoke water germination of *Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don. – Amazon pioneer tree

ABSTRACT

Jacaranda copaia (Aubl.) D. Don. (Bignoniaceae) is a native Amazonian species with broad applicability in the timber industry and promise for the recovery of degraded areas. Their seeds need light, constant temperature for germination and have a short longevity. The application of smoke water has exceeded the photoblastism, besides increase seedling vigour. In order to reduce the requirements for seed germination of *J. copaia* an evaluation on the application of smoke water was carried out (1:50 - coming from the wood of *Cecropia palmata* Willd.) on the seeds in three temperature regimes: constant 25 °C, temperature range 10 °C (20-30 °C) and 20 °C (15-35 °C) in light and dark. Under the conditions tested, the smoke water could not overcome the need for light and temperature conditions in the seed germination. However, it significantly reduced the mean germination time of 31 days (control) for 22 days in ideal conditions. The maximum germination value (T) of the seeds moistened with smoke water was 1.6 times higher ($T = 0.343$ to 22 days) compared to seeds moistened with distilled water ($T = 0.209$ - 26 days). After 70 days of soaking in the dark, the seeds kept at 25 °C moistened with distilled water and smoke had a germination rate similar to that of the control plot, when transferred to optimal conditions (light, 25 °C). The greatest effect was observed in mean germination time, there was a reduction of 31 days (control plot) for 10 days in seeds soaked in the dark with smoke water. The most significant effect of smoke water over the seeds of *J. copaia* was to reduce the mean germination time, even after dark soak.

KEYWORDS

Photoblastism; quiescence; dark soak; alternating temperature; forest species.

INTRODUÇÃO

O gênero *Jacaranda* Juss., da família Bignoniaceae, é predominantemente tropical (Mabberley, 1990) e distribui-se desde a América Central até o nordeste da Argentina (Pennington *et al.*, 2004). São descritas, entre árvores e arbustos, 49 espécies, das quais 12 ocorrem na Amazônia brasileira (Gentry, 1992).

A espécie *J. copaia* é encontrada em florestas de terra firme e de capoeira (Silva *et al.*, 1977; Ribeiro *et al.*, 1999) e em florestas temporariamente inundadas, a várzea (Gentry, 1992); prefere solos com textura franca-argilosa (Salazar-Figueroa, 1999), além de tolerar solos com baixa fertilidade e ligeiramente ácidos (Nieto e Rodriguez, 2002).

Duas subespécies são conhecidas e ocorrem nas proximidades de Manaus/AM: *J. copaia* (Aubl.) D. Don. subsp. *copaia* Greene e *J. copaia* (Aubl.) D. Don. subsp. *spectabilis* (Mart. ex A. DC) Gentry. As mesmas diferem apenas na morfologia do folíolo e do fruto (Gentry, 1992) e ambas as subespécies recebem popularmente o mesmo nome, caroba (na Amazônia Central) ou pará-pará (na Amazônia Oriental) (Silva *et al.*, 1977).

J. copaia possui interesse econômico devido a sua variabilidade de uso. Possui madeira leve ($0,38$ a $0,40$ g/cm³) e de fácil trabalhabilidade (Loureiro e Silva, 1968), é largamente utilizada na fabricação de balsas, caixotes, palitos de fósforo, brinquedos (Loureiro e Lisboa, 1979) e instrumentos musicais (Salazar-Figueroa, 1999). É indicada para a arborização urbana e paisagismo em geral (Lorenzi, 1998; Salazar-Figueroa, 1999) por possuir características desejáveis, como fuste reto e belas inflorescências terminais de coloração púrpura. Recomenda-se o seu uso na recuperação de áreas degradadas (Salazar-Figueroa, 1999; Barbosa *et al.*, 2002),

por ser uma espécie pioneira, com rápido crescimento, boa forma de fuste e elevada taxa de sobrevivência em campo (> 78 %) (Sampaio *et al.*, 1989).

Entretanto, a propagação da caroba apresenta restrições quanto à germinação das suas sementes por exigir luz e temperatura constante de 25 °C, sem as quais as sementes permanecem dormentes e/ou entram em estado de quiescência (Oliveira, 2003; Aud, 2008). Na floresta, as sementes podem permanecer por pelo menos dois anos no banco de sementes (Oliveira, 2003). Por outro lado, a longevidade das sementes é curta, principalmente, quando expostas a luz solar direta, devido o alto teor de ácido linoléico (Triviño *et al.*, 1990).

A água de fumaça é uma solução aquosa de fumaça obtida pela queima de material vegetal. Recentemente, foi identificado o butenolídeo, o composto biologicamente ativo presente na fumaça, responsável pelo estímulo à germinação das sementes (Flematti *et al.*, 2004; Van Staden *et al.*, 2004). Acredita-se que a água de fumaça possui ampla aplicação no setor produtivo até na recuperação de áreas degradadas (Light e Van Staden, 2004). Na tecnologia das sementes seu uso tem apresentado resultados positivos na superação do fotoblastismo da semente (Drewes *et al.*, 1995; Van Staden *et al.*, 2000), na velocidade de germinação (Brown, 1993), no crescimento (Kulkarni *et al.*, 2007c), no vigor das plântulas (Sparg *et al.*, 2005; Kulkarni *et al.*, 2008) e no condicionamento das sementes (Kulkarni *et al.*, 2007a).

Com o objetivo de mitigar os problemas relacionados com a germinação das sementes de *J. copaia*, a água de fumaça foi testada para superar o fotoblastismo positivo; minimizar a necessidade de temperatura constante; aumentar a velocidade de germinação e avaliar o efeito da embebição das sementes no escuro com água de fumaça na germinação das sementes.

MATERIAL E MÉTODOS

A água de fumaça foi produzida conforme Farley (2005), utilizando 6 kg de matéria-prima de origem vegetal para 10 L de água destilada (Flematti *et al.*, 2004). A matéria-prima da queima foi madeira de *Cecropia palmata* Willd., espécie pioneira de ampla distribuição na Amazônia. Baseado em resultados prévios, foi utilizada a diluição 1:50 da água de fumaça (ver Capítulo I dessa Tese).

Os frutos de *Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don. subsp. *spectabilis* (Mart. ex A. DC) Gentry foram coletados ainda fechados, nas copas das matrizes, na estação Experimental de Silvicultura Tropical do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA (à 45 km ao norte de Manaus 2° 47' 5" S e 60° 11' 51"W), em março de 2007. Os frutos foram secados em sala com 25 °C (± 2 °C) e 48 % (± 2 %) de umidade relativa até a abertura das duas valvas para a liberação manual das sementes. Até o início dos ensaios, as sementes secas (teor de água 9,2 % $\pm 1,1$) foram armazenadas em potes de vidro, hermeticamente fechado, a 15 °C (± 2 °C) no escuro, por cerca de 2,5 meses.

A germinação das sementes foi realizada em câmaras com fotoperíodo de 12 horas ou no escuro, em três regimes de temperatura: constante a 25 °C, termoperíodo de 12 h de 20-30 °C e de 15-35 °C, sendo que a temperatura mais alta coincidiu com o período luminoso. As câmaras de germinação foram das marcas LMS® e FANEM®, ambas com precisão de ± 2 °C, e dotadas com lâmpadas fluorescentes (70 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ P.A.R.). As sementes foram semeadas em caixas plásticas transparentes do tipo gerbox (11 x 11 x 4 cm) sobre duas folhas de papel de germinação (GERMIBOX®), umedecidas com 18 ml de água destilada (controle) ou com água de fumaça. As caixas foram envoltas em sacos plásticos finos

(0,0003mm) e transparentes, para evitar dessecação excessiva durante o experimento. A condição de escuro foi criada envolvendo as caixas com duas camadas de papel alumínio. Foram utilizadas sete repetições com 25 sementes em cada tratamento. Quando necessário, os tratamentos na luz foram reumedecidos, com as devidas soluções.

As sementes foram consideradas germinadas quando o comprimento da raiz primária atingiu 5 mm de comprimento. A avaliação dos tratamentos foi realizada a cada dois dias para os tratamentos na luz e uma única vez para os do escuro.

Após a estabilização do processo germinativo (70 dias de observação), foi feita uma avaliação das sementes (germinadas, morfologicamente intactas e deterioradas) em todos os tratamentos. Posteriormente, as sementes classificadas como intactas foram transferidas para as condições com fotoperíodo de 12 h a 25 °C constante (primeiro regime de temperatura).

As variáveis mensuradas foram: porcentagem final de germinação das sementes, índice de velocidade de germinação (IVG), tempo médio de germinação e valor máximo de germinação: $T = \text{porcentagem de germinação acumulada/dias (\% \cdot \text{dias}^{-1})$ (Santana e Ranal, 2004).

Os efeitos da luz, da temperatura e da fumaça sobre as variáveis foram analisados pelo teste de Wilcoxon a 5 % de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados desse estudo confirmam o fotoblastismo positivo das sementes de *J. copaia* como descrito por Oliveira (2003) e Aud (2008). Observou-se ausência

e/ou germinação reduzida quando as sementes foram semeadas no escuro nos três regimes de temperatura (25 °C, 20-30 °C e 15-35 °C) e não foram observadas diferenças entre as sementes umedecidas com água destilada e água de fumaça (Tabela 3.1).

Na luz e na temperatura constante de 25 °C, a germinação das sementes foi significativamente maior do que com alternância de temperatura, tanto com água destilada (34,8 %) quanto com água de fumaça (37,7 %) (Tabela 3.1). A água de fumaça não diminuiu a necessidade de temperatura constante para a germinação dessa espécie. Contudo, com uma amplitude térmica de 10 °C (20-30 °C), as sementes umedecidas com água de fumaça apresentaram uma germinação 4,5 vezes maior do que com água destilada (Tabela 3.1). O mesmo comportamento não foi observado quando a amplitude térmica, entre dia e noite, foi maior (15-35 °C).

Tabela 3.1 – Porcentagem de germinação das sementes em três regimes de temperatura (25 °C; 20-30 °C e 15-35 °C), sem e com fumaça, da espécie *Jacaranda copaia* subsp. *spectabilis* (Bignoniaceae) submetida aos tratamentos de luz, escuro, luz e fumaça, escuro e fumaça.

Temperatura	Germinação (%)			
	Luz	Luz e fumaça	Escuro	Escuro e fumaça
25 °C	34,8 ± 6,4 a A	37,7 ± 9,2 a A	0,0 ± 0,0 b A	1,0 ± 2,0 b B
20 - 30 °C	2,3 ± 3,1 b B	10,3 ± 5,1 a B	2,3 ± 4,5 b A	6,3 ± 2,1 ab A
15 - 35 °C	4,0 ± 5,7 ab B	5,1 ± 3,8 a B	1,1 ± 2,0 b A	4,0 ± 4,6 ab AB

As médias seguidas horizontalmente pela mesma letra minúscula (linha) não diferem entre si pelo Teste de Wilcoxon a 5 % de probabilidade, o mesmo ocorrendo para as médias seguidas verticalmente pela mesma letra maiúscula (coluna).

A exigência por luz e alternância de temperatura para a germinação de algumas espécies pioneiras é interpretada como uma maneira da semente “reconhecer” uma abertura no dossel, favorável ao crescimento subsequente da plântula, pois sementes com poucas reservas não podem manter, por longos

períodos, o desenvolvimento da plântula em condições de sombra (Vázquez-Yanes e Orozco-Segovia, 1990; Souza e Válio, 2001). Porém, a necessidade da alternância de temperatura não é característica das sementes de todas as espécies pioneiras. Algumas podem germinar com luz difusa, que penetra o dossel ou mesmo no escuro, e outras podem exigir temperaturas constantes (Kyereh *et al.*, 1999, Pearson *et al.*, 2002).

A exigência para germinar em temperatura constante pode depender da massa de reserva das sementes (Milberg *et al.*, 2000; Jankowska-Blaszczuk e Daws, 2007). Quando a germinação de *J. copaia* é analisada, compreende-se que o seu requerimento por temperatura constante pode ser devido à massa de sua semente. Estudos realizados com espécies pioneiras arbóreas de uma floresta semidecídua pluvial tropical no Panamá, encontraram fotoblastismo em sementes pequenas (massa < 2 mg) (Pearson *et al.*, 2002). Assim, as sementes de *J. copaia* com peso médio de 1,04 mg ($\pm 0,002$) se enquadram neste grupo, que exige temperatura constante para a germinação das sementes.

A água de fumaça já foi usada com sucesso para superar o fotoblastismo positivo das sementes de alface (*Lactuca sativa* L.) (Drewes *et al.*, 1995; Van Staden *et al.*, 2000). Há também outros exemplos nos quais não foi possível observar efeito da água de fumaça, assim a sensibilidade à água de fumaça parece ser inerente a espécie, pois diferentes respostas (estimuladora, neutra ou inibidora) já foram observadas também em espécies da mesma família (Brown, 1993) e até do mesmo gênero (Kulkarni *et al.*, 2007c). Desta forma, as sementes de *J. copaia* apresentaram efeito neutro quando avaliado o percentual de germinação final das sementes, pois a água de fumaça não foi capaz de superar as exigências de luz e temperatura constante.

Às vezes, o efeito da água de fumaça pode ser melhor observado em parâmetros relacionados com o vigor da semente (Brown, 1993). Especificamente, a velocidade do processo germinativo já foi descrita como uma variável que responde a água de fumaça quando não é possível visualizar na porcentagem final de germinação (Sparg *et al.*, 2005).

Quando avaliadas duas variáveis de velocidade, o valor máximo de germinação (T) e o tempo médio de germinação nas sementes de *J. copaia*, a água de fumaça apresentou um efeito estimulador. Nas condições de luz e temperatura constante, as sementes umedecidas com água destilada apresentaram T de 0,209 aos 26 dias e com água de fumaça houve aumento no valor de T para 0,343 e redução no tempo para 22 dias (Figura 3.1). Houve redução significativa no tempo médio de germinação das sementes umedecidas com água destilada de 30,7 (\pm 7,1) dias para 21,6 (\pm 3,5) dias para as sementes umedecidas com água de fumaça. Nos demais tratamentos, a água de fumaça não surtiu efeito significativo, o que pode ter sido influenciado, também, pela baixa germinação das sementes.

Por aumentar e uniformizar a velocidade de germinação das sementes de *J. copaia*, o uso da água de fumaça pode, portanto, trazer benefícios econômicos ao produtor, por diminuir o tempo de produção das mudas no viveiro.

O estado de quiescência, no qual as sementes entraram quando submetidas a temperaturas alternadas, foi outra característica observada na espécie *J. copaia*, como descrito por Oliveira (2003) e Souza (1999).

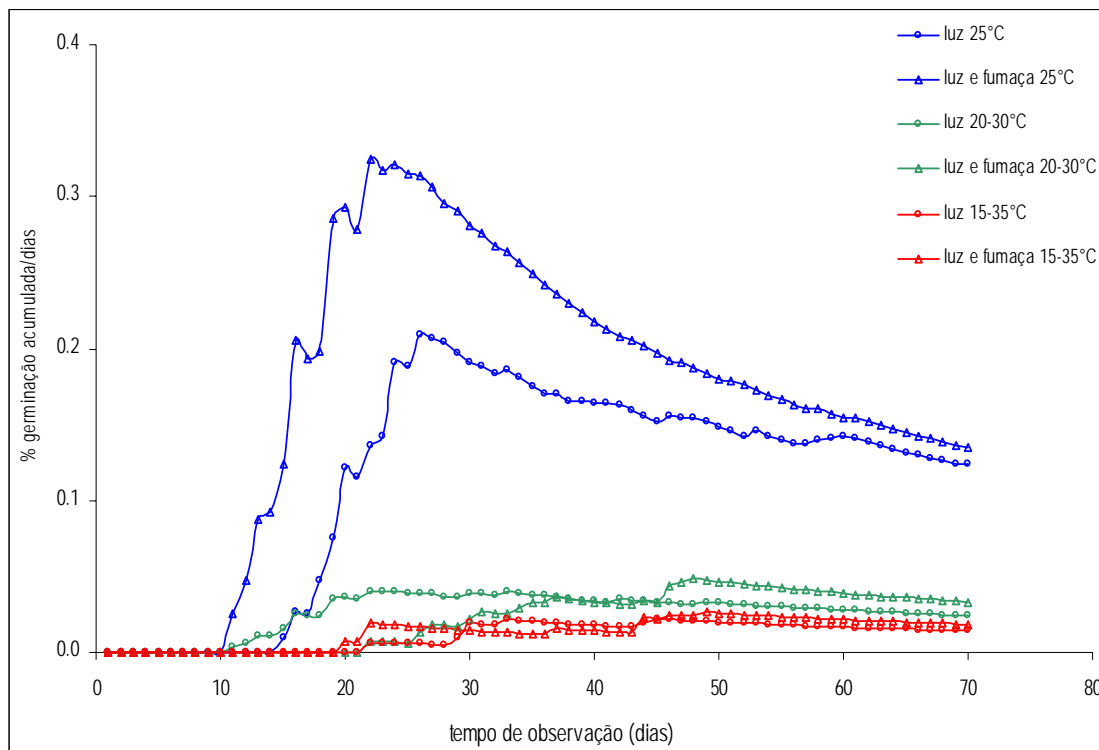


Figura 3.1 – Valor máximo da germinação das sementes (T), sob luz, nos três regimes de temperatura (25 °C; 20-30 °C e 15-35 °C), sem e com água de fumaça (1:50), de *Jacaranda copaia* subsp. *spectabilis*.

Após a transferência para as condições ideais (luz; 25 °C), a porcentagem de germinação das sementes elevou-se em todos os tratamentos que anteriormente estavam com alternância de temperatura (Figura 3.2). Após a transferência, a germinação das sementes umedecidas com água de fumaça (33,2 %) foi significativamente maior em relação àquelas umedecidas com água destilada (12,9%), quando a amplitude térmica foi de 10 °C (20-30 °C). Porém, as sementes antes submetidas à amplitude de 20 °C (15-35 °C), após a transferência, a germinação final não ultrapassou 19 %, independente do uso da água de fumaça.

Os resultados confirmam a quiescência das sementes em condições de temperaturas alternadas. No estudo de Oliveira (2003), foi possível recuperar a germinabilidade das sementes, quando transferidas para condições ideais (25 °C ±

2°C), após 60 dias em temperaturas alternadas de 35-15 °C, 35-20 °C e 30-20 °C. Porém, nesse estudo isso foi possível, somente, após a permanência das sementes a amplitude térmica de 10 °C (20-30 °C).

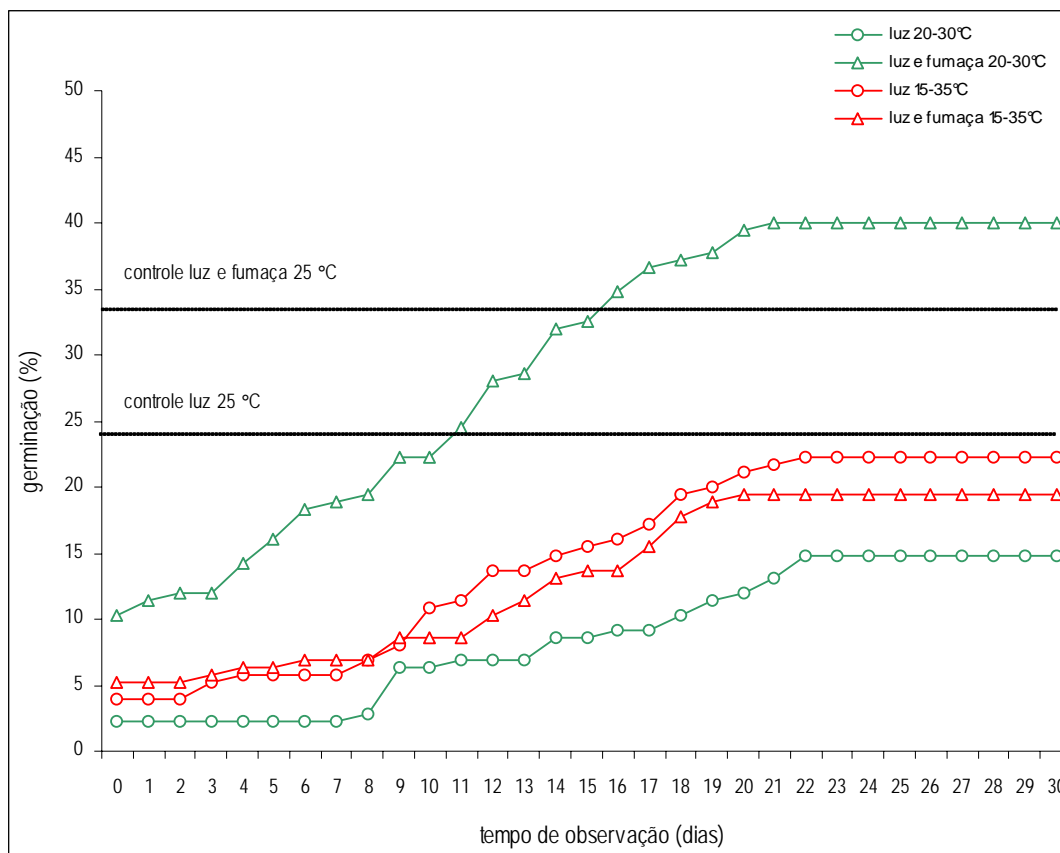


Figura 3.2 – Germinação final (%) das sementes de *Jacaranda copaia* subsp. *spectabilis*, semeadas sem e com água de fumaça (1:50), após 70 dias mantidas nas amplitudes térmicas de 10 °C (20-30 °C) e 20 °C (15-35 °C) e transferidas para as condições ideais de germinação (luz; 25 °C).

A água de fumaça pode superar os efeitos deletérios da flutuação de temperatura e do escuro no processo germinativo das sementes, minimizando as perdas, pois estudos desenvolvidos com a herbaceae *Dioscorea dregeana* (Kunth) Dur. e Schinz mostraram que a água de fumaça (1:500) aumentou o vigor das

plântulas quando as sementes foram transferidas de temperaturas sub-ótima (10 °C) e supra-ótima (35 °C), em 30 % e 50 % respectivamente, para 25 °C (Kulkarni *et al.*, 2007a). Em estudos similares, as sementes de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) tratadas com água de fumaça cresceram normalmente nas temperaturas sub e supra-ótima de germinação (Jain *et al.*, 2006).

O matricondicionamento de sementes armazenadas por cerca de nove meses apresentaram ótimo resultado em *J. copaia*. Observou-se aumento na taxa de germinação de 24 % (controle) para 55 % pelo matricondicionamento em vermiculita média (15 °C; quatro horas) (Calvi, 2008). Na tentativa de melhorar a performance desta espécie, foi avaliado o efeito da embebição das sementes no escuro com água de fumaça em três regimes de temperatura (25 °C, 20-30 °C e 15-35 °C).

Durante os 70 dias embebidas no escuro, a taxa de germinação das sementes foi extremamente baixa (0 a 6,3 % - Figura 3.3). Com a transferência das sementes para as condições ideais (luz; 25 °C), as mantidas anteriormente no escuro e na temperatura contínua de 25 °C apresentaram germinação de 26,3 % com água destilada e 35,3 % com água de fumaça, similar ao do tratamento controle (34,8 %) (Figura 3.3). O IVG das sementes umedecidas com água de fumaça foi significativamente maior (0 dias⁻¹) em comparação as sementes embebidas com água destilada (0,6 dias⁻¹) e com as sementes do controle (0,3 dias⁻¹). O tempo médio de germinação das sementes condicionadas foi significativamente menor de 2,4 (condicionadas com água destilada) a 3,1 (condicionadas com água de fumaça) vezes do que o controle (Figura 3.3). Assim, o efeito positivo do condicionamento, inclusive com água de fumaça, foi observado nas variáveis IVG e tempo médio de germinação das sementes.

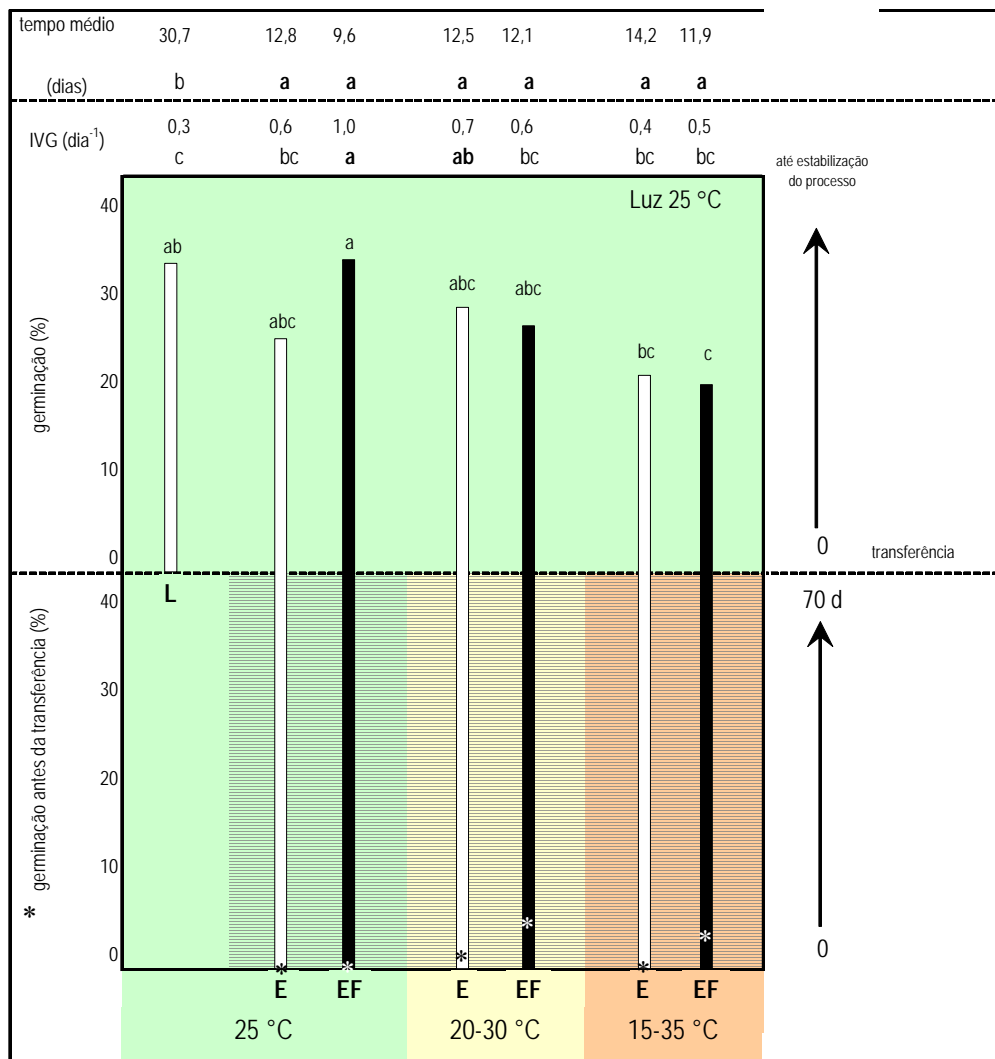


Figura 3.3 – Avaliação do efeito da embebição por 70 dias no escuro, sem e com água de fumaça, de sementes de *Jacaranda copaia* subsp. *spectabilis*, nas condições de temperatura constante (25 °C) e amplitudes térmicas de 10°C (20-30 °C) e 20 °C (15-35 °C), após a transferência para as condições ideais de germinação (luz; 25 °C). Condições durante a embebição das sementes no escuro: L – fotoperíodo de 12 h; E – escuro; F – tratadas com água de fumaça.

Após a embebição das sementes no escuro na amplitude térmica de 10 °C (temperatura alternada de 20-30 °C), as taxas de germinação foram estatisticamente semelhantes àsquelas observadas no tratamento controle (34,8 %) tanto nas sementes condicionadas com água destilada (30,4 %) quanto com água de fumaça (26,9 %). O efeito positivo da embebição no escuro foi também visualizado no IVG e

no tempo médio de germinação das sementes (Figura 3.3). Contudo, na embebição das sementes no escuro na amplitude térmica de 20 °C (15-35 °C), a recuperação da viabilidade das sementes foi menor mesmo com água de fumaça. As taxas de germinação das sementes foram menores em relação ao controle (34,8 %) tanto para sementes embebidas com água destilada (22,0 %) quanto com água de fumaça (21,4 %). Os valores do IVG foram estatisticamente semelhantes ao do controle. Entretanto, a embebição das sementes no escuro manteve o tempo médio de germinação significativamente menor em comparação com o controle (30,7 dias) tanto com água destilada (14,2 dias) quanto com água de fumaça (11,9 dias) (Figura 3.3).

O efeito positivo da água de fumaça, na embebição no escuro, para a espécie *J. copaia* foi mais expressivo nas variáveis, IVG e tempo médio de germinação, relacionadas com a velocidade do processo germinativo, mantendo a viabilidade das sementes por mais de três meses.

CONCLUSÕES

- A água de fumaça não foi capaz de superar a necessidade de luz e de temperatura constante (25 °C) para a germinação das sementes de *J. copaia*.
- A água de fumaça apresentou uma ação positiva no aumento da velocidade de germinação das sementes em condições ideais de temperatura (25 °C). O valor máximo de germinação (T) para as sementes umedecidas com água de fumaça foi de 0,343 aos 22 dias, enquanto as umedecidas com água destilada foi de

0,209 aos 26 dias. O tempo médio de germinação das sementes umedecidas com água de fumaça foi de 21,6 dias e as com água destilada de 30,7 dias.

- Outro efeito positivo atribuído a água de fumaça foi a ação recuperadora para as sementes submetidas a estresse térmico (20-30 °C, amplitude de 10 °C), quando transferidas para as condições ideais de germinação (luz; 25 °C).
- Desta forma, pode ser recomendado para o produtor a embebição das sementes de *J. copaia* no escuro com água de fumaça até a sementeira. Não se recomenda a sementeira no viveiro devido às exigências para a germinação das sementes (luz; 25 °C constante). Até a formação de plântulas deve-se utilizar ambiente controlado e, posteriormente, a transferência para o viveiro.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fumaça, quando solúvel em água, origina uma solução aquosa chamada de água de fumaça e é um produto acessível e econômico. Os benefícios vão desde o estímulo à germinação das sementes até o aumento no vigor das plântulas tanto de espécies silvestres quanto cultiváveis.

Os resultados dessa pesquisa revelaram que é possível produzir águas de fumaça eficazes com diversas matérias-primas da região Amazônica, oriundas de folhas de palmeira e de milho, de madeira de imbaúba e de serragens de louro e da mistura de louro com angelim. Os efeitos da fumaça foram positivos tanto na germinação das sementes quanto nos eventos pós-germinativos de tomate, como no crescimento da raiz e o índice de vigor. Dentro do gradiente de diluições testado, a faixa que mais estimulou a germinação das sementes foi entre 1:25 e 1:100.

Os excelentes resultados da água de fumaça oriunda da madeira de imbaúba foram decisivos para utilizá-la na outra etapa da pesquisa, que foi testar o efeito da água de fumaça sobre a germinação de sementes de espécies florestais de interesse econômico da Amazônia. Ficou evidenciado que a água de fumaça incrementou as taxas germinativas e acelerou o processo, principalmente em sementes com baixo vigor (pau-de-balsa, freijó, caroba, castanha-da-amazônia e orelha-de-macaco) e com germinação prolongada (castanha-da-amazônia e goiaba-de-anta). Tanto na água de fumaça produzida com madeira de imbaúba quanto com papel de germinação, a diluição que mais apresentou efeito positivo sobre as sementes variou nas espécies, indicando que pode ser um fator inerente de cada espécie.

Estudos mais detalhados foram realizados com sementes de caroba, por ser uma espécie promissora em recuperação de áreas degradadas e apresentar necessidades específicas para a sua germinação, como luz e temperatura constante, dificultando a propagação da espécie. A água de fumaça não foi capaz de mitigar as exigências para a germinação das sementes de caroba (luz; 25 °C constante), contudo reduziu o tempo médio de germinação das sementes em condições ideais e em amplitude térmica de 10 °C (20-30 °C). A embebição no escuro com água de fumaça das sementes de caroba permitiu que as taxas de germinação fossem similares em lotes com baixa viabilidade após a transferência para as condições ideais, tanto para sementes embebidas no escuro a 25 °C quanto para as embebidas no escuro na amplitude térmica de 10 °C (20-30 °C). Os maiores efeitos da embebição no escuro foram observados na velocidade de germinação das sementes.

Essa pesquisa de caráter exploratório com a água de fumaça confirmou que a aplicação da fumaça pode trazer benefícios para a germinação de espécies florestais, que vem de um ecossistema pouco susceptível ao fogo. Os resultados permitem nortear as futuras pesquisas, orientando maior aplicabilidade em lotes de sementes com baixo vigor e com germinação prolongada, visando fornecer métodos alternativos e de baixo custo produtivo aos produtores de mudas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adkins, S.W.; Peters, N.C.B.; Paterson, M.F.; Navie, S.C. 2002. Germination stimulation of weed species by smoke. *In*: Nicolás, G.; Braddford, K.J.; Côme, D.; Pritchard, H.W. (Eds). *The biology of seeds: recent research advances*. CAB International, Salamanca, Spain. p. 413-420.
- Alexiades, M.N.; Shanely, P. 2004. *Produto forestales, medios de subsistencia y conservación*: Estudio de caso sobre sistema de manejo de productos forestales no maderables. Jakarba: CIFOR. Vol. 3. 295p.
- Aud, F.F. 2008. Luz, temperatura e fumaça na germinação de espécies pioneiras da Amazônia Central. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas. 44p.
- Barbosa, A.P.; Campos, M.A.A.; Sampaio, P.T.B.; Nakamura, S.; Gonçalves, C.Q.B. 2002. O crescimento de duas espécies florestais pioneiras, pau-de-balsa (*Ochroma lagopus* Sw.) e caroba (*Jacaranda copaia* D. Don.), usadas para recuperação de áreas degradadas pela agricultura na Amazônia Central, Brasil. *Acta Amazonica*, 33(3): 477-482.
- Baxter, B.J.M.; Van Staden, J.; Granger, J.E.; Brown, N.A.C. 1994. Plant-derived smoke stimulate seed germination of the fire-climax grass *Themeda triandra*. *Env. Exp. Bot.*, 34: 217-223.
- Bhalla, P.R.; Sabharwal, P.S. 1973. Investigations on the effect of tobacco smoke condensate on seed germination of higher plants. *Environmental Pollution*, 4(3): 237-242.
- Bhalla, P.R.; Whitaker, T.W.; Sabharwal, P.S. 1973. Effect of water-soluble tobacco smoke extracts from filter and non-filter cigarettes on seed germination of onion and tomato. *Environmental Pollution*, 5(3): 231-236.
- Bhalla, P.R.; Whitaker, T.W.; Sabharwal, P.S. 1974. The effect of water-soluble extract of tobacco smoke condensate from commercial filter and defiltered cigarettes on seed germination. *Environmental Pollution*, 6(2): 141-147.
- Brown, N.A.C. 1993. Promotion of germination of fynbos seeds by plant-derived smoke. *New Phytol.*, 123: 575-583.
- Brown, N.A.C.; Van Staden, J. 1997. Smoke as a germination cue: a review. *Plant Growth Regulation*, 22(2): 115-124.
- Brown, N.A.C.; Van Staden, J.; Daws, M.I. 2003. A summary of patterns in the seed germination response to smoke in plants from the Cape Floral Region. *In*: Smith, R.D.; Dickie, J.B.; Linington, S.H.; Pritchard, H.W.; Probert, R.J. (Eds). *Seed conservation: turning science into practice*. The Royal Botanical Gardens, Kew, London, Kew. p. 564-574.

- Calvi, G.P. 2008. Condicionamento de sementes florestais visando a recuperação de áreas degradadas pela exploração petrolífera na Amazônia brasileira. *Dissertação de Mestrado*, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas. 95p.
- Carvalho, P.E.R. 2007. Paricá: *Schizolobium amazonicum*. Circular Técnica, no. 142. EMBRAPA Florestas, Paraná. 8p.
- Corner, E.J.H. 1976. *The seeds of dicotyledons*. Cambridge: Cambridge University Press. Vol. 1. 311p.
- Corrêa, M.P. 1926. *Dicionário de plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas*. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura. p.6.
- Crosti, R.; Ladd, P.G.; Dixon, K.W.; Piotto, B. 2006. Post-fire germination: the effect of smoke on seeds of selected species from the central Mediterranean basin. *Forest Ecology and Management*, 221: 306-312.
- Dhindwal, A.S.; Lather, B.P.S.; Singh, J. 1991. Efficacy of seed treatment on germination, seedling emergence and vigour of cotton (*Gossypium hirsutum*) genotypes. *Seed Research*, 19: 59-61.
- Dixon, K.W.; Roche, S. 1995. The role of combustion products (smoke) in stimulating *ex situ* and *in situ* germination of Western Australian plants. *Proceedings of the International Plant Propagation Society*, 45: 53-56.
- Dixon, K.W.; Roche, S.; Pate, J.S. 1995. The promotive effect of smoke derived from burnt native vegetation on seed germination of Western Australian plants. *Oecologia*, 101: 185-192.
- Drewes, F.E.; Smith, M.T.; Van Staden, J. 1995. The effect of plant-derived smoke extract on the germination of light-sensitive lettuce seed. *Plant Growth Regulation*, 16: 205-209.
- Farley, G.J. 2005. The implications of a reproducible method for making smoke water on seed dormancy studies. In: 8th International Workshop on Seeds Germinating New Ideas. *Abstracts*. Brisbane, Queensland Australia, p. 130.
- Ferraz, I.D.K.; Leal Filho, N.; Imakawa, A.M.; Varela, V.P.; Piña-Rodrigues, F.C.M. 2004. Características básicas para um agrupamento ecológico preliminar de espécies madeireiras da floresta de terra firme da Amazônia Central. *Acta Amazonica*, 34 (4): 621-633.
- Ferreira, L.; Chalub, D.; Muxfeldt, R. 2004. Ipê-amarelo: *Tabebuia serratifolia* (Vahl) Nichols. *Informativo Técnico / Rede de Sementes da Amazônia*, no. 5. 2p.
- Flematti, G.R.; Ghisalberti, E.L.; Dixon, K.E.; Trengove, R.D. 2004. A compound from smoke that promotes seed germination. *Science*, 305(5686): 977.

- Gentry, A.H. 1992. Bignoniaceae – Part II (Tribe Tecomeae). *Flora Neotropical Monograph* 25 (II). The New York Botanical Garden, New York. p. 50-356.
- Gómez-González, S.; Sierra-Almeida, A.; Cavieres, L.A. 2008. Does plant-derived smoke affect seed germination in dominant woody species of the Mediterranean matorral of central Chile? *Forest Ecology and Management*, 255: 1510–1515.
- Gunn, C.R. 1984. Fruits and seeds of genera in the subfamily Mimosoideae (Fabaceae). USDA, Agricultural Research Service. Technical Bulletin, no. 1681.
- Imakawa, A.M. 1996. Ecofisiologia e estabelecimento inicial de *Carinia micrantha* Ducke (Lecythidaceae) em uma floresta de terra firme na Amazônia Central. *Dissertação de Mestrado*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade do Amazonas. Manaus, Amazonas. 86p.
- Jäger, A.K.; Light, M.E.; Van Staden, J. 1996. Effects of source of plant material and temperature on the production of smoke extracts that promote germination of light-sensitive lettuce seeds. *Environmental and Experimental Botany*, 36(4): 421-429.
- Jain, N.; Van Staden, J. 2006. A smoke-derived butenolide improves early growth of tomato seedlings. *Plant Growth Regulation*, 50: 139-148.
- Jain, N.; Kulkarni, M.G.; Van Staden, J. 2006. A butenolide, isolated from smoke, can overcome the detrimental effects of extreme temperatures during tomato seed germination. *Plant Growth Regulation*, 49:263–267.
- Jankowska-Blaszczuk, M.; Daws, M.I. 2007. Impact of red:far red ratios on germination of temperate forest herbs in relation to shade tolerance, seed mass and persistence in the soil. *Functional Ecology*, 21: 1055-1062.
- Jusaitis, M.; Polomka, L.; Sorensen, B. 2004. Habitat specificity, seed germination and experimental translocation of the endangered herb *Brachycome muelleri* (Asteraceae). *Biological Conservation*, 116: 251-266.
- Kainer, K.A.; Duryea, M.L.; Malavasi, M.M.; Silva, E.R.; Harrison, J. 1999. Moist storage of Brazil nut seeds for improved germination and nursery management. *Forest Ecology and Management*, 116 (1-3): 2007-217.
- Kanashiro, M.; Yared. J.A.G. 1980. Propagação vegetativa de *Cordia goeldiana* através de estaquia. Belém, EMBRAPA/CPATU. Pesquisa em Andamento, 5. 3p.
- Keeley, J.E.; Fotheringham, C.J. 1997. Trace gas emissions and smoke-induced seed germination. *Science*, 276: 1248-1250.
- _____ 1998. Smoke-induced seed germination in California chaparral. *Ecology*, 79(7): 2320-2336.

- Kulkarni, M.G.; Sparg, S.G.; Van Staden, J. 2006a. Dark conditioning, cold stratification and a smoke-derived compound enhance the germination of *Eucomis autumnalis* subsp. *autumnalis* seeds. *South African Journal of Botany*, 72: 157-162.
- Kulkarni, M.G.; Sparg, S.G.; Light, M.E.; Van Staden, J. 2006b. Stimulation of rice (*Oryza sativa* L.) seedling vigour by smoke-water and butenolide. *J. Agronomy & Crop Science*, 192: 395-398.
- Kulkarni, M.G.; Street, R.A.; Van Staden, J. 2007a. Germination and seedling growth requirements for propagation of *Dioscorea dregeana* (Kunth) Dur. and Schinz – a tuberous medicinal plant. *South African Journal of Botany*, 73: 131-137.
- Kulkarni, M.G.; Ascough, G.D.; Van Staden, J. 2007b. Effects of foliar applications of smoke-water and a smoke-isolated butenolide on seedling growth of okra and tomato. *Hortscience*, 42(1): 179-182.
- Kulkarni, M.G.; Sparg, S.G.; Van Staden, J. 2007c. Germination and post-germination response of *Acacia* seeds to smoke-water and butenolide, a smoke-derived compound. *Journal of Arid Environments*, 69: 177-187.
- Kulkarni, M.G.; Ascough, G.D.; Van Staden, J. 2008. Smoke-water and a smoke-isolated butenolide improve growth and yield of tomatoes under greenhouse conditions. *Horttechnology*, 18(3): 449-454.
- Kyereh, B.; Swaine, M.D.; Thompson, J. 1999. Effect of light on the germination of forest trees in Ghana. *Journal of Ecology*, 87: 772-783.
- Landis, T.D. 2000. Where there's smoke ... there's germination? *Native Plants Journal*, 1(1): 25-29.
- Light, M.E.; Van Staden, J. 2004. The potential of smoke in seed technology. *South African Journal of Botany*, 70(1): 97-101.
- Lima, A.J.N.; Teixeira, L.M.; Carneiro, V.M.C.; Santos, J.; Higuchi, N. 2007. Análise da estrutura e do estoque de fitomassa de uma floresta secundária da região de Manaus AM, dez anos após corte raso seguido de fogo. *Acta Amazonica*, 37(1): 49-54.
- Lima Júnior, M.J.V.; Galvão, M.S. 2005. Mogno: *Swietenia macrophylla* King. *Informativo Técnico / Rede de Sementes da Amazônia*, no. 8. 2p.
- Lloyd, M.V.; Dixon, K.W.; Sivasithamparam, K. 2000. Comparative effects of different smoke treatments on germination of Australian native plants. *Austral Ecology*, 25: 610-615.
- Lorenzi, H. 1998. *Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. 2 ed. Vol. 1. São Paulo: Plantarum. 368p.

- Loureiro, A.A.; Silva, M.F. 1968. *Catálogo das madeiras da Amazônia*. Vol. 1. SUDAM (Ministério do Interior – Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia), Belém, Pará. 433p.
- Loureiro, A.S.; Lisboa, P.L.B. 1979. Madeiras do município de Aripuanã e suas utilidades (Mato Grosso). *Acta Amazonica*, suplemento 1: 88p.
- Mabberley, D.J. 1990. *The plant-book*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 707p.
- Merritt, D. J.; Kristiansen, M.; Flematti, G.R.; Turner, S.R.; Ghisalberti, E.L.; Trengove, R.D.; Dixon, K.W. 2006. Effects of a butenolide present in smoke on light-mediated germination of Australian Asteraceae. *Seed Science Research*, 16(1): 29-35.
- Milberg, P.; Andersson, L.; Thompson, K. 2000. Large seeded species are less dependent on light for germination than small seeded ones. *Seed Science Research*, 10: 99-104.
- Minorsky, P.V. 2000. Smoke-induced germination. *Plant Physiology*, 128: 1167-1168.
- Morris, E.C.; Tieu, A.; Dixon, K. 2000. Seed coat dormancy in two species of *Grevillea* (Protaceae). *Annals of Botany*, 86: 771-775.
- Nieto, V.M.; Rodriguez, J. 2002. *Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don. In: Vozzo, J.A. (Ed.) *Tropical Tree Seed Manual*. United States Department of Agriculture, Forest Service. p. 526-527.
- Oliveira, M.C.P. 2003. A longevidade e a perda da dormência de diásporos de espécies florestais tropicais em áreas com diferentes graus de alteração. Tese de Doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas. 222p.
- Oliveira, M.C.P.; FERRAZ, I.D.K. 2003. Longevidade de propágulos de espécies florestais enterradas no solo da floresta e em áreas com diferentes graus de alteração na Amazônia Central. In: HIGUCHI, N. (org.) *Projeto Jacaranda - fase 2: pesquisas florestais na Amazônia Central*. Manaus: INPA. p. 129-152.
- Pearson, T.H.R.; Burslem, D.F.R.P.; Mullins, C.E.; Dalling, J.W. 2002. Germination ecology of neotropical pioneers: interacting effects of environmental conditions and seed size. *Ecology*, 83: 2798-2807.
- Pennington, T.D.; Reynel, C.; Daza, A. 2004. *Illustrated guide to the trees of Peru*. David Hunt, England. 848p.
- Pérez-Fernández, M.A.; Rodríguez-Echeverría, S. 2003. Effect of smoke, charred wood and nitrogenous compounds on seed germination of ten species from woodland in Central-western Spain. *Journal of Chemical Ecology*, 29(1): 237-251.

- Pierce, S.M.; Esler, K.; Cowling, R.M. 1995. Smoke-induced germination of succulents (Mesembryanthemaceae) from fire-prone and fire-free habitats in South Africa. *Oecologia*, 102:520-522.
- Prance, G.T.; Mori, S.A. 1979. Lecythidaceae - Part I: The actinomorphic-flowered New World Lecythidaceae. *Flora Neotropica. Monograph*, 21. 270p.
- Read, T.R.; Bellairs, S.M.; Mulligan, D.R.; Lamb, D. 2000. Smoke and heat effects on soil seed bank germination for the re-establishment of a native forest community in New South Wales. *Austral Ecology*, 25: 48-57.
- Ribeiro, J.E.L. da S.; Hopkins, M.J.G.; Vicentini, A.; Sothers, C.A.; Costa, M.A. da S.; Brito, J.M. de; Souza, M.A.D. de; Martins, L.H.; Lohmann, L.G.; Assunção, P.A.C.L.; Pereira, E. da C.; Silva, C.F. da; Mesquita, M.R.; Procópio, L.C. 1999. *Flora da Reserva Ducke: guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra-firme na Amazônia Central*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)/Department for International Development (DFID), Manaus, Amazonas. 793p.
- Rocas, A.N. 1988. *Semillas de árboles y arbustos: ontogenia y estructura*. México: Linusa S.A. 285p.
- Roche, S.; Koch, J.M.; Dixon, K.W. 1997a. Smoke enhanced seed germination for mine rehabilitation in the Southwest of Western Australia. *Restoration Ecology*, 5(3): 191-203.
- Roche, S.; Dixon, K.W.; Pate J.S. 1997b. Seed ageing and smoke: partner cues in the amelioration of seed dormancy in selected Australian native species. *Australian Journal of Botany*, 45(5): 783-815.
- Roche, S.; Dixon, K.W.; Pate, J.S. 1998. For everything a season: smoke-induced seed germination and seedling recruitment in a Western Australian *Banksia* woodland. *Australian Journal of Ecology*, 23: 111-120.
- Salazar-Figueroa, R, 1999. *Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don. Nota Técnica sobre Manejo de Semillas Forestales (CATIE). No. 59, 2p.
- Sampaio, P.T.B.; Barbosa, A.P.; Fernandes, N.P. 1989. Ensaio de espaçamento com caroba – *Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don. Bignoniaceae. *Acta Amazonica*, 19 (único): 383-389.
- Sandi, C.; Flores, E.M. 2002. *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb. In: Vozzo, J.A. (ed.) *Tropical tree seed manual*. Washington, D.C. USDA Forest Service, Agriculture Handbook 721. p. 586-588.
- Santana, D.G.; Ranal, M.A. 2004. *Análise da germinação: um enfoque estatístico*. Editora Universidade de Brasília, Brasília. 248p.
- Silva, M.F.; Lisboa, P.L.P.; Lisboa, R.C.L. 1977. *Nomes vulgares de plantas da Amazônia*. INPA, Manaus. 222p.

- Smith, M.A.; Loneragan, W.A.; Grant, C.D.; Koch, J.M. 2000. Effect of fire on the topsoil seed banks of rehabilitated bauxite mine sites in the jarrah forest of Western Australia. *Ecological Management & Restoration*, 1(1): 50-60.
- Sousa, D.B.; Carvalho, G.S.; Ramos, E.J.A. 2005. Paricá: *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke. *Informativo Técnico / Rede de Sementes da Amazônia*, no. 13. 2p.
- Souza, C.M. 1999. Germinação e indução de quiescência em sementes de caroba (*Jacaranda copaia* D. Don.) submetidas a diferentes temperaturas e condições luminosas. Monografia de Estágio Supervisionado do Curso de Engenharia Florestal. Instituto de Tecnologia da Amazônia, Manaus, Amazonas. 39p.
- Souza, S.G.A.; Varela, V.P. 1989. Tratamentos pré-germinativos de faveira orelha-de-macaco (*Enterolobium schomburgkii* Benth.). *Acta Amazonica*, 19 (único): 19-26.
- Souza, R.P.; Válio, I.F.M. 2001. Seed size, seed germination and seedling survival of brazilian tropical tree species differing in successional status. *Biotropica*, 33: 447-457.
- Sparg, S.G.; Kulkarni, M.G.; Light, M.E.; Van Staden, J. 2005. Improving seedling vigour of indigenous medicinal plants with smoke. *Bioresource Technology*, 96: 1323-1330.
- Sparg, S.G.; Kulkarni, M.G.; Van Staden, J. 2006. Aerosol smoke and smoke-water stimulation of seedling vigor of a commercial maize cultivar. *Crop Science*, 46: 1336-1340.
- Stevens, J.C.; Merritt, D.J.; Flematti, G.R.; Ghisalberti, E.L.; Dixon, K.W. 2007. Seed germination of agricultural weeds is promoted by the butenolide 3-methyl-2H-furo[2,3-c]pyran-2-one under laboratory and field conditions. *Plant Soil*, 298: 113-124.
- Taylor, J.L.S.; Van Staden, J. 1998. Plant-derived smoke solutions stimulate the growth of *Lycopersicon esculentum* roots *in vitro*. *Plant Growth Regulation*, 26: 77-83.
- Tieu, A.; Dixon, K.W.; Sivasithamparam, K.; Plummer, J.A.; Sieler, I.M. 1999. Germination of four species of native Western Australian plants using plant-derived smoke. *Australian Journal of Botany*, 47(2): 207-219.
- Tieu, a.; Dixon, K.W.; Meney, K.A.; Sivasithamparam, K. 2001. The interaction of heat and smoke in the release of seed dormancy in seven species from Southwestern Western Australia. *Annals of Botany*, 88: 259-265.
- Triviño, D. T.; Acosta, R. S. de; Castillo, A. 1990. Técnicas de manejo de semillas para algunas especies forestales neotropicales en Colombia. *Serie Documentación-Corporación-Nacional de Investigación y Fomento Forestal*. Bogotá, Colombia. No. 19, 91p.

- Van Staden, J.; Brown, N.A.C.; Jäger, A.K.; Johnson, T.A. 2000. Smoke as a germination cue. *Plant Species Biology*, 15: 167-178.
- Van Staden, J.; Jäger, A.K.K.; Light, M.E.; Burger, B.V. 2004. Isolation of the major germination cue from plant-derived smoke. *South African Journal of Botany*, 70(4): 654-659.
- Van Staden, J.; Sparg, S.G.; Kulkarni, M.G.; Light, M.E. 2006. Post-germination effects of the smoke-derived compound 3-methyl-2*H*-furo[2,3-*c*]pyran-2-one, and its potential as a preconditioning agent. *Field Crops Research*, 98: 98-105.
- Van Staden, J.; Kulkarni, M.G.; Ascough, G.D. 2007. The promotion of tomato and okra seedling growth by foliar applications of smoke-water and a smoke-isolated butenolide. *South African Journal of Botany*, 73(2): 318.
- Vazquez-Yanes, C.; Orozco-Segovia, A. 1990. Ecological significance of light-controlled seed germination in two contrasting tropical habitats. *Oecologia*, 83: 171-175.
- Verschaeve, L.; Maesa, J.; Light, M.E.; Van Staden, J. 2006. Genetic toxicity testing of 3-methyl-2*H*-furo[2,3-*c*]pyran-2-one, an important biologically active compound from plant-derived smoke. *Mutation Research*, 611: 89-95.
- Vizcarra, T. B. 2006. Estratégias reprodutivas de espécies pioneiras na Amazônia Central: fenologia e sucesso no estabelecimento de plantas. *Dissertação de Mestrado*, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia / Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas. 76p.