

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E AMBIENTAIS
PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA GERAL/BIOPROSPECÇÃO

FLÁVIA MITSUKO KODAMA

**METABOLISMO FOTOSSINTÉTICO DE *Hancornia speciosa*
Gomes e *Caryocar brasiliense* Cambess. SOB DÉFICIT HÍDRICO E
REIDRATAÇÃO**

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2013

FLÁVIA MITSUKO KODAMA

**METABOLISMO FOTOSSINTÉTICO DE *Hancornia speciosa* Gomes e
Caryocar brasiliense Cambess. SOB DÉFICIT HÍDRICO E
REIDRATAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Biologia Geral/Bioprospecção, para a obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Silvana de Paula Quintão Scalon

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2013

Ficha de aprovação

Aos meus pais Koiti e Kazuco,
À minha irmã Letícia (*in memoriam*),
À minha avó Yoneko.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus pela vida e por tudo que tem me proporcionado. Sou grata por tudo que tenho.

À minha querida orientadora Silvana de Paula Quintão Scalon, pelos anos de orientação, dos quais com muito carinho, dedicação, humildade e ensinamentos que me acompanharão por toda a vida. Obrigada por não desistir de mim, nos meus momentos mais difíceis.

À minha co-orientadora Mara Mussury, por me oportunizar o estágio de docência.

À Universidade Federal da Grande Dourados e ao Programa de Pós-Graduação e Biologia Geral/Bioprospecção, pela oportunidade.

Ao meu companheiro e amigo Neto, pelo carinho, paciência e por me fazer acreditar que milagres existem.

Às minhas amigas e companheiras de mestrado Thalita e Dayane, pela amizade e por caminhar comigo nestes anos.

À minha amiga Daiane pela amizade, incentivo e ajuda na execução do experimento e gráficos do trabalho.

À todos os meus amigos que estiveram presentes nesta minha caminhada, me fortalecendo nas horas difíceis e alegrando ainda mais os momentos felizes.

À minha prima Luciana que sempre me apoiou e me ajudou com as inúmeras sessões de acupuntura.

Aos professores do programa pelos ensinamentos repassados.

Ao Paulo Henrique Figueiredo pelos serviços prestados, sempre com muita paciência e dedicação.

Aos funcionários de campo da FCA.

À CAPES pelo apoio financeiro.

À todos aqueles que colaboraram direta ou indiretamente para realização deste trabalho.

SUMÁRIO

REVISÃO DE LITERATURA.....	09
As espécies estudadas.....	10
Disponibilidade de água e metabolismo fotossintético.....	11
REFERÊNCIAS.....	14
CAPÍTULO I - GAS EXCHANGE AND PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY IN <i>Hancornia Speciosa</i> Gomes SEEDLINGS UNDER WATER DEFICIT CONDITIONS AND DURING REHYDRATION	17
Introduction.....	19
Material and Methods.....	19
Results and Discussion.....	21
Conclusion.....	27
Acknowledgements.....	28
References.....	28
CAPÍTULO II - GAS EXCHANGE AND PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY IN <i>Caryocar brasiliense</i> Cambess SEEDLINGS UNDER WATER DEFICIT CONDITIONS AND DURING REHYDRATION	30
Introduction.....	32
Material and Methods.....	33
Results and Discussion.....	35
Conclusion.....	41
Acknowledgements.....	42
References.....	42
ANEXOS	45
Anexo 1: Normas para publicação da Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira (PAB).	46
Anexo 2: Submissão de artigo.....	55

METABOLISMO FOTOSSINTÉTICO DE *Hancornia speciosa* Gomes E *Caryocar brasiliense* Cambess. SOB ESTRESSE HÍDRICO E REIDRATAÇÃO

RESUMO

O Bioma Cerrado é a formação savânica com maior diversidade vegetal do mundo, principalmente de espécies lenhosas. A *Hancornia speciosa* Gomes – Apocinaceae conhecida como mangaba, é encontrada espontaneamente nas regiões Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste. Os frutos da mangabeira são bem apreciados, de boa digestibilidade e alto valor nutricional, sendo consumidos in natura e utilizados na fabricação de refrescos, sorvetes, doces secos, compotas, xaropes e no preparo de vinho e vinagre. *Caryocar brasiliense* Cambess. - Caryocaceae conhecido como pequi, é uma árvore nativa dos Cerrados brasileiros que pode ser praticamente todo aproveitado. O fruto do pequi é fonte de vitaminas, utilizado na fabricação de farinha, paçoca, conserva em óleo e salmoura. A casca e as folhas contêm altos teores de tanino, constituindo-se em matéria prima para a fabricação de tinturas. O óleo da polpa tem efeito tonificante, sendo usado na farmacopéia popular contra bronquites, gripes, resfriados e no controle de tumores. Os recursos hídricos estão se tornando cada vez mais escassos, a caracterização do estresse hídrico tem se tornado um tema importante para programar a irrigação e selecionar genótipos de plantas mais resistentes ao déficit hídrico. Todos os aspectos de crescimento e desenvolvimento das plantas são afetados pela deficiência hídrica nos tecidos. Os efeitos do déficit hídrico sobre o desenvolvimento dos vegetais dependem da intensidade, da duração do estresse, do estágio de crescimento que a planta se encontra e da sua genética, podendo ocasionar diversas modificações morfofisiológicas. Estas mudanças alteram as trocas gasosas, o que influencia o processo de fotossíntese e síntese de solutos orgânicos e é considerado como fator limitante no crescimento e na produção primária líquida das plantas.

Palavras-chave: Cerrado, mangaba, pequi

METABOLISM PHOTOSYNTHETIC OF *Hancornia speciosa* Gomes AND *Caryocar brasiliense* Cambess. UNDER WATER STRESS AND REHYDRATION

ABSTRACT

The Cerrado is a savanna types with greater plant diversity in the world, mainly woody species. The *Hancornia speciosa* Gomes - Apocinaceae known as mangaba, is found spontaneously in the Southeast, Midwest, North and Northeast regions . The fruits of mangabeira are well appreciated, good digestibility and high nutritional value and is consumed fresh and used in the manufacture of soft drinks, ice cream, dry pastries, jams, syrups and preparing wine and vinegar. *Caryocar brasiliense* Cambess. - Caryocaceae known as pequi, is a tree native to the Brazilian Cerrado that can be practically all passed. The fruit of pequi source of vitamins is used in the manufacture of flour, peanut candy, canned in oil and brine. The bark and leaves contain high levels of tannin, thus becoming raw material for the manufacture of dyes. The pulp oil has toning effect and is used in folk pharmacopoeia against bronchitis, colds, flu and control tumors. Water resources are becoming increasingly scarce, the characterization of water stress has become an important topic for scheduling irrigation and select genotypes more resistant to drought plants. All aspects of growth and development of plants are affected by water stress in tissues. The effects of water deficit on the development of plants depend on the intensity, the duration of stress, the growth stage of the plant is and its genetic and can cause various morphological and physiological changes. These changes alter gas exchange, which influence the process of photosynthesis and synthesis of organic solutes and is considered as a limiting factor in growth and net primary production of plants.

Keywords: Cerrado, mangaba, pequi

REVISÃO DE LITERATURA

No Estado de Mato Grosso do Sul, o Cerrado é a formação vegetacional predominante. No entanto, grande parte dessas áreas já não possui mais a cobertura vegetal original, atualmente ocupada por paisagens antrópicas (LEHN et al., 2008). A expansão das fronteiras agrícolas, aliada ao baixo percentual de áreas protegidas por unidades de conservação de uso restrito, provocou uma redução drástica na área do Cerrado brasileiro, estimada em aproximadamente 40% da cobertura original (FELFILI et al., 2002). Este Bioma é apontado como grande detentor de diversidade biológica, sendo a formação savânica com maior diversidade vegetal do mundo, especialmente quando se consideram as espécies lenhosas (GUARIM NETO & MORAIS, 2003).

A distribuição e a manutenção das diferentes fitofisionomias do Bioma Cerrado estão relacionadas com fatores edáficos e topográficos, além da ocorrência de fogo e perturbações antrópicas (MARIMON JÚNIOR & HARIDASAN, 2005). O cerrado *sensu stricto* é uma vegetação savânica composta por um estrato arbóreo-arbustivo e outro herbáceo-graminoso. O componente lenhoso apresenta sistema radicular que permite o acesso das plantas a camadas profundas do solo, com maior disponibilidade de água, enquanto o componente herbáceo é formado por espécies perenes com órgãos subterrâneos bem desenvolvidos, tais como rizomas, bulbos e raízes tuberosas que garantem a sua sobrevivência durante o período seco e incêndio ocasional (ZAIDAN & CARREIRA, 2008).

A ocorrência de incêndios na estação seca tendem a impedir as sucessões vegetais nas florestas e contribuem para o empobrecimento do solo no Cerrado. Estes solos são sujeitos à forte déficit hídrico nesta época, o que restringe o estabelecimento de espécies florestais (OLIVEIRA FILHO & RATTER 2002). Portanto, a água é fator importante desde a fase inicial de crescimento da planta até a produção de fotoassimilados e na sua ausência, a planta pode sofrer modificações em seu metabolismo (MARTINS, 2008).

O déficit hídrico pode reduzir tanto a porcentagem quanto a velocidade de germinação, e a uma ampla variação de respostas entre as espécies, como o fechamento estomático, que reduz a difusão do CO₂ para o interior das células, refletindo em futura redução na taxa de fotossíntese, e conseqüentemente no desenvolvimento das plantas (LARCHER, 2006). A extensão dos efeitos do déficit hídrico nas espécies depende da sua intensidade e duração, além da capacidade genética das plantas em responder às mudanças do ambiente (CHAVES, 1991).

Assim, os programas de implantação, recomposição e revitalização de áreas nativas de Cerrado somente terão sucesso quando os fatores que alteram a sobrevivência e o desenvolvimento inicial das mudas durante a fase de viveiro e no campo forem conhecidos (FONSECA et al., 2002).

As espécies estudadas

Hancornia speciosa Gomes – Apocinaceae conhecida como mangaba, é uma árvore nativa do Brasil, que é encontrada espontaneamente nas regiões Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste. Típica do Cerrado, sua população vem sendo drasticamente reduzida, juntamente com o restante da vegetação nativa, devido à especulação imobiliária e ao desmatamento para o cultivo de monoculturas. Há relatos na literatura que suas sementes sejam sensíveis à dessecação e ao armazenamento. O quadro de abandono e destrato das mangabeiras existentes tem sido, por outro lado, amenizado pelo interesse de alguns produtores em iniciar um plantio estruturado sob bases comerciais, estimulados pela grande demanda e bons preços alcançados no mercado informal (SOUZA et al., 2007).

A mangabeira é uma frutífera tropical, cujos frutos são bem apreciados, de boa digestibilidade e alto valor nutricional, sendo consumidos *in natura* e utilizados na fabricação de refrescos, sorvetes, doces secos, compotas, xaropes e no preparo de vinho e vinagre (BARROS et al., 2010; SANTOS et al., 2010). Em virtude dessas características a mangabeira é considerada uma espécie promissora para a fruticultura nacional (LOBO et al., 2008).

Caryocar brasiliense Cambess. - Caryocaceae conhecido como pequi, é uma árvore nativa dos Cerrados brasileiros que pode ser praticamente todo aproveitado, o que o colocou na lista de espécie protegida, sendo proibido o corte e comercialização de sua madeira em todo o território nacional. O fruto do pequi é fonte de vitaminas, utilizado na culinária regional em pratos típicos, na fabricação de farinha, paçoca, conserva em óleo e salmoura. As sementes também fornecem óleo que, devido às suas propriedades aromáticas, é usado na fabricação de licores. A madeira é de ótima qualidade bastante resistente e com elevado poder calorífico, usada na fabricação de carvão siderúrgico e nas construções civil, rural e naval, na fabricação de mourões e pilões, esteio de curral e produção moveleira (RIBEIRO, 2003).

A casca e as folhas contêm altos teores de tanino, constituindo-se em matéria prima para a fabricação de tinturas. O óleo da polpa tem efeito tonificante, sendo usado na farmacopéia popular contra bronquites, gripes, resfriados e no controle de tumores. O chá das

folhas é tido como regulador de fluxo menstrual e, na indústria cosmética, fabricam-se cremes para pele. O óleo do pequi é rico em ácido oléico, presente também na pele como principal constituinte da emulsão epicutânea, e betacaroteno pró-vitamina A que, além de absorver radiações ultravioletas, está associado aos antirradicais livres. A maior parte da obtenção dos frutos de pequi é proveniente do extrativismo, realizado manualmente por famílias de baixa renda e contribui com 18% da renda familiar dos produtores rurais do Norte de Minas Gerais, atrás apenas do feijão - 34% e mandioca - 33%. Observou também que a propagação dessa espécie por sementes é dificultada pelo fato da germinação das sementes ser lenta, desuniforme e pouco freqüente levando de um mês a mais de um ano para ocorrer, com porcentagem de germinação que varia de 5% a 60% (ROCHA, 2009).

Disponibilidade de água e metabolismo fotossintético

Os recursos hídricos estão se tornando cada vez mais escassos, requerendo estudos criteriosos voltados para a racionalização e o uso mais eficiente da água. Assim, a caracterização do estresse hídrico tem se tornado um tema importante para programar a irrigação e selecionar genótipos de plantas mais resistentes ao déficit hídrico (GOMIDE et al., 2005).

Em algumas espécies, a perda do turgor devido ao estresse hídrico provoca o fechamento estomático, a redução da fotossíntese e da respiração e a interferência em muitos processos metabólicos básicos. Ambientes secos podem estimular reações adaptativas que capacitem as plantas a sobreviverem em períodos prolongados de déficit hídrico. Entre as estratégias para as plantas crescerem em climas secos pode-se citar: escapar do estresse através de um curto ciclo de desenvolvimento, por exemplo; evitar o déficit hídrico, através da redução da transpiração ou do aumento da absorção de água; manter o crescimento sob estresse hídrico; ou, ainda, resistir ao severo déficit por meio de mecanismos de sobrevivência (TARDIEU, 2005).

Com a diminuição gradativa da água disponível no solo, o desenvolvimento das plantas apresenta comprometimento, que pode variar em função das características adaptativas da espécie, da severidade do déficit de água, do estágio de desenvolvimento e da possibilidade de aclimação ao déficit (CALBO & MORAES, 2000).

Todos os aspectos de crescimento e desenvolvimento das plantas são afetados pela deficiência hídrica nos tecidos, causada pela excessiva demanda evaporativa ou pelo limitado suprimento de água. Os efeitos do déficit hídrico sobre o desenvolvimento dos

vegetais dependem da intensidade, da duração do estresse, do estágio de crescimento que a planta se encontra e da sua genética, podendo ocasionar desorganização do protoplasma, diversas modificações morfofisiológicas e até levar a planta à morte (KERBAUY, 2004; TAIZ & ZIEGER, 2009; MARTINS et al., 2010).

O déficit hídrico altera os processos fisiológicos, bem como induz alterações morfológicas e anatômicas em muitas espécies de plantas. Estas mudanças ocorrem principalmente nas trocas gasosas, o que influencia o processo de fotossíntese e síntese de solutos orgânicos e é considerado como o fator de maior limitação do crescimento e da produção primária líquida em plantas, uma vez que limita a absorção de carbono (CHARTZOULAKIS et al., 2002).

Sena et al. (2007) observaram em sua revisão que as raízes das plantas sob stress de água produzem ácido abscísico (ABA), que é transportada pelo xilema para as folhas causando fechamento estomático como um mecanismo de proteção contra a seca. A transpiração estomática e níveis condutância estomática podem variar diária ou sazonalmente de acordo com a espécie ou cultivar, sendo maiores na parte da manhã nas estações quentes nas regiões tropicais, se comparado a outros períodos do dia. A condutância estomática está negativamente correlacionada com o déficit hídrico do solo, baixo potencial de água das células e fechamento estomático. Observaram também que o aumento da concentração de ABA faz com que o fechamento estomático em várias espécies, se mantenha tanto sob luz quanto no escuro durante vários dias.

No entanto, em razão do fechamento estomático, são gerados decréscimos na assimilação do CO₂ e no rendimento quântico do fotossistema II (MARIANO et al., 2009). Assim, o estresse hídrico moderado afeta a fotossíntese e a condutância estomática, e à medida que o estresse se torna rigoroso, a desidratação das células do mesofilo inibe a fotossíntese, o metabolismo do mesofilo é prejudicado e a eficiência do uso da água geralmente decresce (TAIZ & ZEIGER, 2009). Por isso, durante a estação seca é presumível que ocorra grande restrição na transpiração, com decréscimos na atividade fotossintética, constatando-se que mudas de espécies lenhosas do Cerrado atingem valores de fotossíntese próximos a zero (FRANCO, 2006; MARIANO et al., 2009).

A deficiência hídrica no solo causa redução na assimilação de CO₂ (MORAES, 2011) e no rendimento quântico do fotossistema II (pelo acúmulo de espécies reativas de oxigênio) e, portanto, afeta a fotossíntese (BAKER, 1993).

Os fatores ambientais, tem efeito direto nos processos fotossintéticos, que podem ser medidos pela eficiência máxima do Fotossistema II (PSII), estimada por meio da razão

entre fluorescência variável e a fluorescência máxima (Fv/Fm) (ARAÚJO, 2004). Esta relação expressa a eficiência relativa da captura de energia luminosa pelo PSII, usado frequentemente para avaliar o desempenho fotossintético e o estado fisiológico geral das plantas.

Uma planta que apresenta aparelho fotossintético intacto a fluorescência máxima da clorofila (Fv/Fm) deve variar entre 0,75 e 0,85 (BOLHAR-NORDENKAMPF et al., 1989), enquanto a queda nesta razão reflete a presença de dano fotoinibitório nos centros de reação do PSII (BJÖRKMAN & DEMMING, 1987).

Assim, capacidade fotossintética é uma característica intrínseca de cada espécie vegetal, sendo que as trocas gasosas mudam durante o ciclo do desenvolvimento do indivíduo e dependem do curso anual e até mesmo do curso diário das flutuações ambientais (luz, temperatura, umidade, etc) em torno da planta (LARCHER, 2006).

Diante do exposto, espera-se que *Hancornia speciosa* e *Caryocar brasiliense*, sendo espécies nativas do Cerrado sejam tolerantes ao déficit hídrico. Os resultados da presente pesquisa poderão contribuir para projetos de recomposição de áreas degradadas do Cerrado e implantação de áreas para exploração sustentável. Assim, informações sobre a ecofisiologia da produção de mudas dessas espécies são escassas, tornando-se necessário estudos nesse sentido.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, R. A.; SIQUEIRA, D. L.; MARTINEZ, C. A.; FERNANDES, A. R. Características biométricas, índice SPAD-502 e emissão da fluorescência em porta enxertos de citros. **Revista Ceres**, Minas Gerais, vol. 51. p. 179-189, 2004.
- BAKER, N. R. Light-use efficiency and photoinhibition of photosynthesis in plants under environmental stress. In: Smith JAC, Water deficits plant responses from cell to community. **Bios Scientific Publisher**, Oxford, p. 221-235, 1993.
- BARROS, D. I.; BRUNO, R. L. A.; NUNES, H. V.; MENDONÇA, R. M. N.; PEREIRA, W. E. Comportamento fisiológico de sementes de mangaba submetidas à dessecação. **Revista Acta Tecnológica**, Maranhão, v. 5, n. 1, p. 17-31, 2010.
- BJÖRKMAN, O.; DEMMING, B. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. **Planta**, Berlin, v. 170, n. 4, p. 61-66, 1987. Disponível em: <<http://dx.doi.org>> DOI:10.1007/BF00402983
- BOLHÀR-NORDENKAMPF, H. R.; LONG, S. P.; BAKER, N. R.; OQUIST, G.; SCHREIDER, U.; LECHNER, E. G. Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. **Functional Ecology**, London, v. 3, p. 497-514, 1989.
- CALBO, M. E. R.; MORAES, J. A. P. V. Efeitos da deficiência de água em plantas de *Euterpe oleracea* (açai). **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 23, n. 3, p. 225-230, 2000.
- CHARZOULAKIS, K.; PATAKAS, A.; KOFIDIS, G.; BOSABALIDIS, A.; NASTOU, A. Water stress affects leaf anatomy, gas exchange, water relations and growth of two avocado cultivars. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 95, p. 39-50, 2002.
- CHAVES, M. M. Effects of water deficits on carbon assimilation. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 42, n. 234, p. 1-16, 1991.
- FELFILI, J. M.; NOGUEIRA, P. E. JÚNIOR, M. C. S.; MARIMON, B. S.; DELITTI, W. B. C. Composição florística e fitossociologia de um cerrado sentido restrito no município de Água Boa-MT. **Acta Botânica Brasílica**, Feira de Santana, v. 16, n. 1, p. 103-112, 2002.
- FONSECA, E. P.; VALERI, S. V.; MIGLIORANÇA, E.; FONSECA, N. A. N.; COUTO, L. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 515-523, 2002.
- FRANCO, A. C. Relações hídricas em plantas do cerrado: As plantas lenhosas do cerrado transpiram livremente? In: PRADO, C.H.B.A.; CASALI, C.A. **Fisiologia Vegetal**: práticas em relações hídricas, fotossíntese e nutrição mineral. Barueri: Manole, 466 p. 2006.
- GOMIDE, R. L.; DURÃES, F. O. M.; KOBAYASHI, M. K.; MACHADO, R. A. F. Caracterização de estresse hídrico de duas linhagens de milho (*Zea mays* L.) com sondas de

fluxo de seiva. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 4, n. 3, p. 344-354, 2005.

GUARIM NETO, G.; MORAIS, R. G. Recursos medicinais de espécies do Cerrado de Mato Grosso: um estudo bibliográfico. **Acta Botânica Brasílica**, Feira de Santana, v. 17, n. 4, p. 561-584, 2003.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 452 p. 2004.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Rima, 550 p. 2006.

LEHN, C. R.; ALVES, F. M.; DAMASCENO JÚNIOR, G. A. Florística e fitossociologia de uma área de Cerrado *Sensu stricto* na região da borda oeste do Pantanal. **Pesquisas Botânica**, Corumbá, n. 59, p. 129-142, 2008.

LOBO, F. A.; CAMPELO JUNIOR, J. H.; RODRIGUEZ-ORTÍZ, C. E.; LUCENA, I. C.; VOURLITIS, G. L. Leaf and fruiting phenology and gas exchange of Mangabeira in response to irrigation. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, v. 20, n. 1, p. 1-10, 2008.

MARIANO, K. R. S.; BARRETO, L. S.; SILVA, A. H. B.; NEIVA, G. K. P.; RIBEIRO, A. J.; AMORIM, S. M. C. Fotossíntese e tolerância protoplasmática foliar em *Myracrodruon urundeuva* FR. ALL. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 4, p. 853-859, 2009.

MARIMON JÚNIOR, B. H.; HARIDASAN, M. Comparação da vegetação arbórea e características edáficas de um cerradão e um cerrado *sensu stricto* em áreas adjacentes sobre solo distrófico no leste de Mato Grosso, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, Feira de Santana, v. 19, n. 4, p. 913-926, 2005.

MARTINS, M. O. **Aspectos fisiológicos do nim indiano sob déficit hídrico em condições de casa de vegetação**. Dissertação de Mestrado em Biologia, Faculdade de Ciências Biológicas, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife: UFRPE, 85 p. 2008.

MATINS, J. D.; CARLESS, R.; KNES, A. E.; DE OLIVEIRA, Z. B.; BROETTO, T.; RODRIGUES, G. J. Potencial hídrico foliar em milho submetido ao déficit hídrico. **Irriga**, Botucatu, v. 15, p. 324-334, 2010.

MORAES, J. V. **Parâmetros biométricos, fisiológicos e bioquímicos em híbridos de *eucalyptus grandis* x *eucalyptus urophylla* sob diferentes regimes de irrigação em casa de vegetação**. Tese de Doutorado em Agronomia, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal: UNESP, 85 p. 2011.

OLIVEIRA FILHO, A. T.; RATTER, J. A. Vegetation physiognomies and woody flora of the Cerrado Biome In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. *The cerrados of Brazil*. **Columbia University Press**, New York, v. 52, p. 121-140, 2002.

RIBEIRO, R.F. **Pequi: o rei do cerrado**. Belo Horizonte: Rede Cerrado. 62p. 2000.

ROCHA, J. P. **Fatores genéticos e ambientais na emergência de plântulas de pequi (Caryocar brasiliense Camb.)**. Dissertação de Mestrado em Agronomia, Faculdade de

Ciências Agrárias, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Diamantina: UFVJM, 34 p. 2009.

SANTOS, P. C. G. S.; ALVES, E. U.; GUEDES, R. S.; SILVA, K. B.; CARDOSO, E. A.; LIMA, C. R. Qualidade de sementes de *Hancornia speciosa* Gomes em função do tempo de secagem. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 2, p. 343-352, 2010.

SENA, J. O. A.; ZAIDAN, H. A.; CAMARGO E CASTRO, P. R. Transpiration and stomatal resistance variations of perennial tropical crops under soil water availability conditions and water deficit. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, vol. 50, n. 2, 2007.

SOUZA, F. G.; FIGUEIREDO, R. W.; ALVES, R. E.; MAIA, G. A.; ARAÚJO, I. A. Qualidade pós-colheita de frutos de diferentes clones de mangabeira (*Hancornia speciosa* GOMES). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 5, p. 1449-1454, 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 848 p, 2009.

TARDIEU, F. Plant tolerance to water deficit: physical limits and possibilities for progress. **Comptes Rendus Geoscience**, Philadelphia, v.337, n.1-2, p.57-67, 2005.

ZAIDAN, L. B. P.; CARREIRA, R. C. Seed germination in Cerrado species. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, v. 20, n. 3, p.167-181, 2008.

CAPÍTULO I - Gas exchange and photosynthetic activity in *Hancornia Speciosa* Gomes seedlings under water deficit conditions and during rehydration

Abstract - The present work evaluated the responses of *Hancornia speciosa* Gomes seedlings to water deficit conditions. We evaluated the photosynthetic rate, internal carbon concentration, transpiration rate, stomatal conductance, water-use efficiency, photosystem II quantum efficiency (F_v/F_m), instantaneous carboxylation efficiency, chlorophyll index, and recuperation potential of *H. speciosa* seedlings after rehydration. Twelve month-old seedlings were used that were maintained at 70% of their soil water retention capacity under 70% shading. Data was collected 7, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 23, 31, 33, 35, 37, 42, 44, 46, and 48 days after suspending irrigation; irrigation was reinitiated when the photosynthetic rate approached zero. Water deficit conditions reduced all of the parameters evaluated except the chlorophyll index; stressed seedlings required 42 days for the photosynthetic rate to reach zero, but photosynthetic equilibrium was reestablished just five days after rehydration. This temporary water deficiency did not cause any permanent deleterious effects on the photosynthetic apparatus of the seedlings.

Keywords: Cerrado, stress, photosynthesis, mangaba

Trocas gasosas e atividade fotossintética em mudas de *Hancornia speciosa* Gomes sob déficit hídrico e reidratação

Resumo - Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar as respostas das mudas de *Hancornia speciosa* Gomes ao déficit hídrico. Foram avaliadas a taxa fotossintética, concentração interna de carbono, taxa transpiratória, condutância estomática, eficiência no uso da água, eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm), eficiência instantânea de carboxilação e índice de clorofila além do potencial de recuperação das mudas após a reidratação. Foram utilizadas mudas com 12 meses de idade, cultivadas a 70% de capacidade de retenção de água e 70% de sombreamento. As coletas dos dados foram realizadas aos 7, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 23, 31, 33, 35, 37, 42, 44, 46, 48 dias após suspensão da irrigação e quando a taxa fotossintética se aproximou de zero, houve retomada da irrigação. O déficit hídrico reduziu todas as características avaliadas exceto o índice de clorofila, as mudas estressadas levaram 42 dias para que a taxa fotossintética chegasse a zero mas restabeleceram o equilíbrio fotossintético em apenas 5 dias após a reidratação. A deficiência hídrica não provocou efeito deletério no aparelho fotossintético.

Palavras-chave: Cerrado, estresse, fotossíntese, mangaba

Introduction

Hancornia speciosa Gomes (family Apocinaceae), locally known as "mangaba", is a native tree found in southeastern, central-western, northern, and northeastern Brazil. Its fruits are very delicious and have high nutritional value, being consumed *in natura* or used to make juices, dried fruits, jams, syrups, wines, and vinegar (BARROS et al., 2010; SANTOS et al., 2010). The populations of this typical species of the Cerrado biome (Neotropical savanna) have been drastically reduced due to anthropogenic impacts. The general situation of abandonment and poor treatment of "mangaba" trees has been partially alleviated by the efforts of some farmers to establish structured plantations of these trees in response to the high demand and high prices of their fruits (SOUZA et al., 2007). However, very little information is currently available about the ecophysiology of the seedlings of this species.

Mechanisms of water deficit tolerance have been examined in various plant species and the results have been used to speed the recuperation of degraded areas and in seedling production. Plant responses to water deficits include the closing of their stomata, reductions in transpiration and the alteration of factors related to photosynthetic activity, leading to reductions in photoassimilate production (CALBO & MORAES, 1997; MEDRANO et al., 2002; QUEIROZ et al., 2002; OLIVEIRA et al., 2002; PARRY et al., 2002; FRANCO, 2006; MAGALHÃES FILHO et al., 2008; GONÇALVES et al., 2009; SILVA et al., 2009)

The present work evaluated the gas exchange and the photosynthetic activities of *Hancornia speciosa* Gomes seedlings and examined their tolerance to water deficits as well as their metabolic recuperation after rehydration.

Material and Methods

The experimental procedures described here were undertaken under greenhouse divisions at the Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), located in the municipality of Dourados, Mato Grosso do Sul State (MS), Brazil (22°13'16''S x 54°17'01''W; at 430 m a.s.l.). The regional climate is classified as cwa (Mato Grosso do Sul, 1990), with a mean annual rainfall of 1500 mm and a mean annual temperature of 22 °C.

Hancornia speciosa Gomes ("mangaba") seedlings were produced from seeds derived from a native Cerrado population in MS. The seedlings were cultivated in polyethylene recipients (5 kg capacity) in a substrate composed of 50% red distroferic latosol and 50% de sand (v:v), under 70% shading. After 12 months the seedlings had heights between 15.0 and 18.3 cm, stem diameters of 3.11 to 4.05 mm, 15 to 16 expanded leaves, and primary roots from 25 to 33 cm long.

The growth substrate was hydrated to 70% of its water retention capacity (WRC) and the seedlings subsequently separated into two treatment groups: 1 – Controls, which were irrigated periodically to maintain their 70% WRC; and treatment 2 –characterized by water stress, in which irrigation was suspended until the photosynthetic rates of the seedlings attained near-zero values, at which time daily irrigation was reinitiated. During the experimental period the seedlings were isolated from natural rainfall in a covered greenhouse.

The internal carbon concentrations (c_i - mol m⁻² s⁻¹); stomatal conductance (g_s - mol m⁻² s⁻¹); transpiration (E - mmol m⁻² s⁻¹); photosynthesis (A - μ mol m⁻² s⁻¹), instantaneous carboxylation efficiency (A/c_i - μmol m⁻² s⁻¹/ mol m⁻² s⁻¹), and water-use efficiency (A/E - μmol de CO₂ / mmol de H₂O) of the seedlings were determined using an infrared gas analyzer (IRGA) (model LCi PRO; Analytical Development Co. Ltda, Hoddesdon, UK). The water use efficiency of the plants was calculated using the A/E ratio, and the instantaneous carboxylation efficiency was calculated by the A/c_i ratio.

The chlorophyll index was determined with the aid of a chlorophyll measuring device (Konica Minolta, SPAD 502). The PS II photochemical quantum efficiency (Fv/Fm) was determined with the aid of a portable fluorometer (Opty- sciences, model OS-30p), examining leaves that had been maintained in the dark for 20 min. The leaves were subsequently exposed to a pulse of saturating light for 5 seconds (intensity $3000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

All measurements were performed between 08:00 and 10:00 in the morning on the seventh day after suspending irrigation. All measurements were performed on a single completely expanded leaf. Five seedlings from each treatment were evaluated 7, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 23, 31, 33, 35, 37, 42, 44, 46, and 48 days after suspending irrigation. The irregular intervals between evaluations reflect the necessity of performing the measurements under similar climatic conditions (sunny days, without clouds). The evaluations were terminated when the photosynthetic rate approached the initial (control) rate.

The data was processed in Excel for graphic representation and for calculating the means and standard errors of each point.

Five adult plants growing in a natural environment in Cerrado vegetation in Mato Grosso do Sul State, Brazil, were also characterized in terms of their gas exchange rates and chlorophyll indices after a 30 day period with a total of 69.9 mm of rainfall (source: the meteorological station at UFGD). These plants demonstrated the following parameters: internal CO_2 concentration $244.5 \pm 26.33 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; stomatal conductance $0.098 \pm 0.005 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; photosynthetic rate $5.94 \pm 1.11 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; transpiration rate $2.48 \pm 0.8 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; instantaneous CO_2 carboxylation efficiency $0.024 \pm 0.004 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} / \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; water-use efficiency $2.40 \pm 0.17 \mu\text{mol CO}_2 / \text{mmol H}_2\text{O}$, and chlorophyll index 49.08 ± 1.95 .

Results and Discussion

During the experimental period, the control seedlings of *Hancornia speciosa* Gomes demonstrated average photosynthetic rates (A) of $2.29 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figure 1A). The

seedlings exposed to water deficit conditions demonstrated significant variations in their photosynthetic rates during the experimental period, with decreases after the 18th day until the 42nd day of evaluation, when this parameter approached zero ($0.125 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) and irrigation was reinitiated.

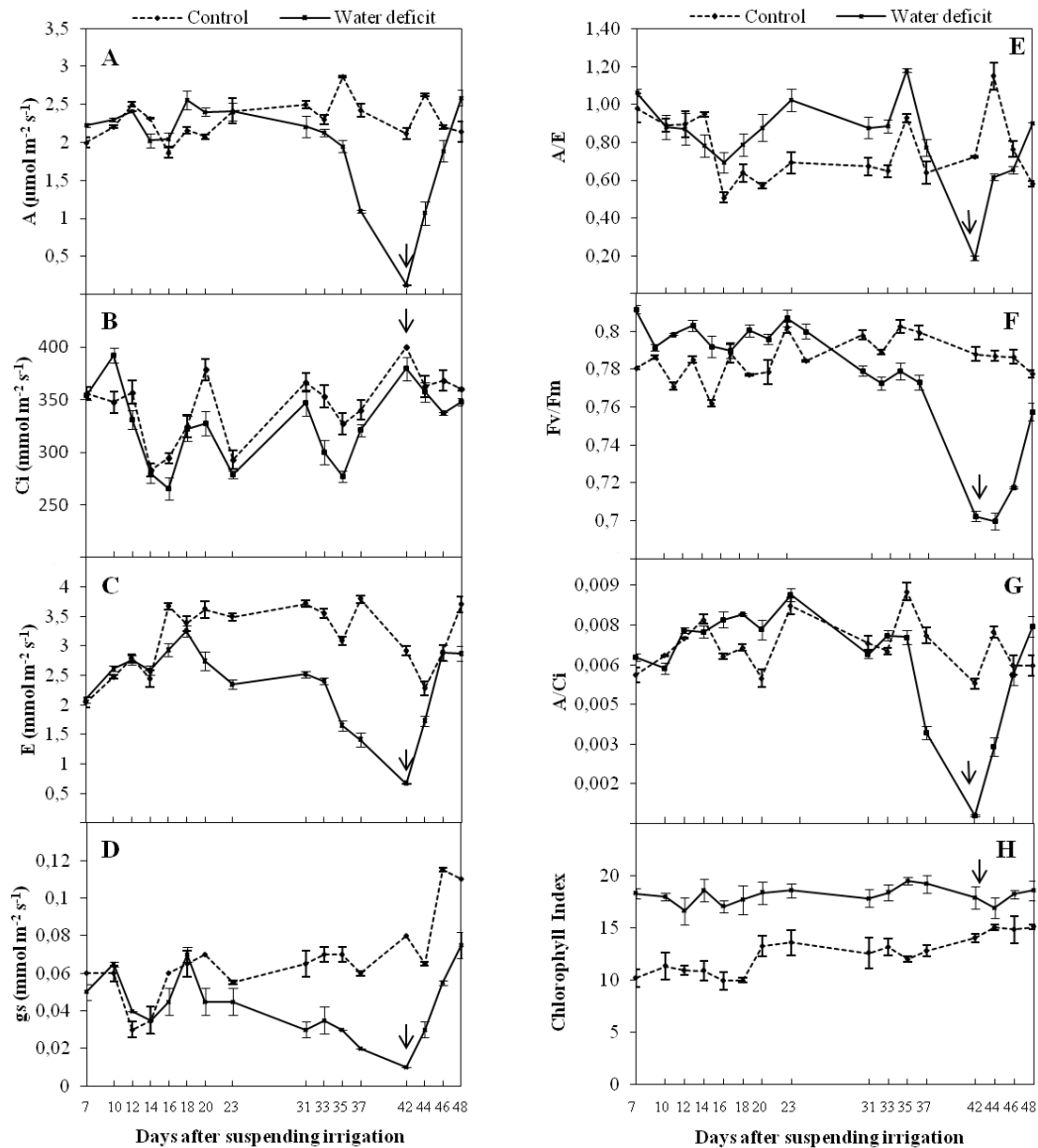


Figure 1. Mean values of the photosynthetic rate (A), internal CO_2 concentration (B), transpiration rate (C), stomatal conductance (D), water-use efficiency - A/E (E), PS II photochemical quantum efficiency (F), instantaneous carboxylation efficiency of CO_2 - A/Ci (G), and chlorophyll index (H), as a function of the evaluation days among irrigated *Hancornia speciosa* Gomes seedlings submitted to water stress conditions. The arrows indicate the re-initiation of irrigation, and the bars represent the standard errors of the means. UFGD. Dourados-MS, 2013.

After rehydration, the seedlings that had been exposed to water deficit conditions rapidly reinitiated their photosynthetic metabolism, with corresponding elevations in their photosynthetic rates, reaching control levels by the 47th day and an average of $2.585 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ by the 48th day – thus surpassing the photosynthetic rate of the control seedlings. As such, the previously stressed seedlings required only five days to recuperate their initial photosynthetic rates.

In relation to internal CO₂ concentrations (C_i), these values remained very similar in the seedlings of both treatments, although the plants exposed to water deficit conditions showed slightly lower concentrations of this gas during the evaluation period (Figure 1B).

The transpiration rates (E) of the stressed seedlings remained very similar to the control seedlings until the 14th day after suspending irrigation (Figure 1C), after that time, the stressed seedlings showed reductions in transpiration until the 42nd day when irrigation was reinitiated, with a mean of $0.665 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Similar to the photosynthetic rate, the transpiration rate recuperated quickly, and after 5 days of renewed irrigation the seedlings demonstrated values similar to those of the control seedlings ($2.88 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

Stomatal conductance (g_s) was low in seedlings exposed to water deficit conditions, and remained low from the 18th to 42nd day (Figure 1D); recuperation occurred with rehydration, reaching levels only slightly inferior to those of the control.

It could therefore be seen that with the re-initiation of irrigation the seedlings showed recuperation of their photosynthetic rates, transpiration levels, stomatal conductance, and CO₂ carboxylation efficiency by rubisco in only five days.

In relation to the water-use efficiency ratio (A/E), it was observed that both treatments had similar efficiencies until approximately the 12th day of evaluation, after that the stressed seedlings demonstrated greater water-use efficiency in relation to the controls until approximately the 37th day (Figure 1E). The control seedlings had lower water-use

means (0.76 μmol of CO_2 / mmol of H_2O) than those seen in the stressed plants (0.82 μmol of CO_2 / mmol of H_2O).

The PS II photochemical quantum efficiency (F_v/F_m) of the control seedlings demonstrated wide variations, with a mean of 0.77 (Figure 1F). Plants exposed to water deficits also demonstrated variations until the 37th day of evaluation, after which their values decreased, reaching a mean of 0.70 on the 43rd day; these values increased on the 48th day, but never regained initial levels.

The mean values of the instantaneous CO_2 carboxylation efficiency were similar in both treatments until the 35th day, when the water-stressed seedlings demonstrated a pronounced drop (Figure 1G). The stressed plants showed rapid recuperation after rehydration, reaching control values by the 46th day of evaluation.

The chlorophyll index of the "mangaba" seedlings was greater after suspending irrigation, and remained high during the entire evaluation period (Figure 1H), with a difference of approximately 8 units in relation to the controls, although this difference decreased to approximately 3 units at the end of the evaluation period as the control seedlings demonstrated corresponding increases in their chlorophyll indexes.

Reductions of stomatal conductance did not appear to be the principal cause of reductions in the photosynthetic rates of stressed *H. speciosa* seedlings as their internal carbon concentrations remained similar to those of the controls. However, the observed reduction in g_s was certainly responsible for reduced transpiration indices that remained low until the 42nd day of evaluation when the photosynthetic rate approached zero and irrigation was reinitiated.

Stomatal conductance oscillated for the first 18 days after suspending irrigation, with subsequent slow reductions until the 42nd day, although internal CO_2 concentrations remained high until irrigation was resumed. This behavior suggests that other factors act in controlling photosynthesis. A drop in stomatal conductance normally indicates the partial

closing of the stomata due to dehydration of the guard cells, or as a hormonal response – representing one of the first lines of defense of plants faced with a soil-water deficiency. This mechanism reduces water losses due to transpiration, but also impedes CO₂ assimilation and photosynthetic processes (DIAS & MARENCO, 2007; MAGALHÃES FILHO et al., 2008).

As such, the observed reductions in the photosynthetic rates of water-stressed seedlings can be attributed to reductions in stomatal conductance associated with the reduction of rubisco CO₂ carboxylation efficiency; reductions in A/c_i in *H. speciosa* only became strongly pronounced after the 35th day of evaluation, however, when there was also a major decrease in the photosynthetic rate. According to Medrano et al. (2002) and Parry et al. (2002) drought conditions reduce mesophyll metabolism by diminishing the activation and activity of rubisco carboxylase. Reduced rubisco efficiency can be caused by increased mesophyll resistance due to stomatal closing, thus restricting the absorption of CO₂ by the chloroplasts and possibly increasing the action of rubisco oxygenase and, consequently, photorespiration.

The reduction of stomatal conductance became more pronounced around the 10th day after suspending irrigation, and the decrease in the transpiration rate after the 18th day, and became more rapid than the decrease in the photosynthetic rate after the 23rd day. Even after reinitiating the irrigation of the *H. speciosa* seedlings, the g_s values of the stressed seedlings did not fully recover to the levels of the control seedlings, suggesting that the stomata of stressed plants only slowly recovered their hydration – different from the more rapid recuperation observed for the photosynthetic rate, transpiration rate, and internal carbon concentrations. These results were apparently due to the decreased water availability in the plants and the diminished water potentials of the leaves – leading to a loss of turgor and consequently to reductions in stomatal conductance and photosynthetic rates (MEDRANO et al., 2002).

These results suggest the existence of growth substance mediated signaling between the roots and the aerial portion of the plant, probably by abscisic acid produced by the roots, thus allowing the maintenance of higher humidity levels in the leaves for longer periods of time even while the soil is progressively drying (MAGALHÃES FILHO et al., 2008).

Results similar to those reported here for *H. speciosa* have been observed in other species. Stomatal responses to water deficit conditions in genotypes of *Spondias tuberosa* Arruda ("umbu") suggest that stomatal closing represents the first line of defense against desiccation (SILVA et al., 2009). The recuperation of photosynthesis, transpiration, and the water potential in *Bactris gasipaes* Kunth ("pupunha") seedlings was observed three days after reinitiating irrigation, while stomatal conductance only increased by 50% in that same period (OLIVEIRA et al., 2002). Recuperation of 70% conductance five days after reestablishing irrigation was reported by Calbo (1996) in *Mauritia vinifera* Mart. ("buriti"), and 90% recuperation after 14 days in *Euterpe oleraceae* Mart. ("açazeiros"). The internal CO₂ concentrations of *Mauritia vinifera* Mart. ("buritizeiro") were found to remain more or less constant, without any obvious direct relationship with stomatal conductance (CALBO & MORAES, 1997).

The water-use efficiency of water-stressed *H. speciosa* seedlings was generally greater than that of controls during the period when the photosynthetic and transpiration rates became reduced (between the 16th and 37th day after suspending irrigation), although their water-use efficiency diminished with increasing stress after the 37th day, as the lack of available water produced more intense reductions in the transpiration rate (reaching near-zero levels by the 42nd day). The metabolic processes reinitiated after rehydration, leading to an increase in this ratio due to significant increases in the photosynthetic rate in relation to transpiration.

Rocha & Moraes (1997) noted similar responses in *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville to those reported here for *H. speciosa*, with increases in water use efficiency when stomatal conductance and transpiration were lowest. Both species are probably well adapted to low water conditions, as water-use efficiency is defined as the quantity of CO₂ fixed even while the plants are actively limiting water losses. As such, the greater the ratio of CO₂ fixed to water lost, the greater the water-use efficiency of that plant.

In relation to PS II photochemical quantum efficiency, it was seen that the water deficit conditions experienced by the stressed seedlings did not cause irreversible damage to the photosynthetic apparatus (with means of 0.77); although these values reached 0.7 from the 42nd to 44th day, there was essentially complete final recuperation of the Fv/Fm values and of the photosynthetic rate. Plants with intact photosynthetic apparatuses will have maximum chlorophyll fluorescence values (Fv/Fm) between 0.75 and 0.85 (BOLHAR-NORDENKAMPF et al., 1989), with any decrease in this ratio reflecting photo-inhibitory damage to the PSII reaction centers (BJÖRKMAN E DINMING, 1987; THACH et al., 2007).

The chlorophyll values demonstrated a definite pattern in relation to the water deficit. The maintenance of high chlorophyll levels in seedlings cultivated under water deficit regimes can be attributed to the fact that less hydration resulted in apparent higher concentrations of these pigments in the cells.

The results of the present work indicate that *H. speciosa* seedlings exposed to water stress conditions under low light levels (70% shading) show reduced photosynthetic activities, reaching near-zero values 42 days after suspending irrigation; this reduction was due to stomatal conductance limitations and low rubisco carboxylation efficiency – and not to irreversible damage to photosystem II.

Conclusion

Water deficits reduced all of the parameters evaluated except the chlorophyll index. Stressed seedlings required 42 days for their photosynthetic rates to approach zero, but were able to reestablish photosynthetic equilibrium just five days after rehydration. Water deficits did not cause any deleterious effects on the photosynthetic apparatus of stressed seedlings.

Acknowledgements

This work was supported by CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) with scholarship for the second author.

References

- BARROS, D.I.; BRUNO, R.L.A.; NUNES, H.V.; MENDONÇA, R.M.N.; PEREIRA, W.E. Comportamento fisiológico de sementes de mangaba submetidas à dessecação. **Revista Acta Tecnológica**, v.5, p. 17–31, 2010.
- BJÖRKMAN, O.; DEMMING, B. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 k among vascular plants of diverse origins. **Planta**, v.170, p.61–66, 1987.
- BOLHÀR-NORDENKAMPF, H.R.; LONG, S.P.; BAKER, N.R.; OQUIST, G.; SCHREIDER, U.; LECHNER, E.G. Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. **Functional Ecology**, v.3, p.497–514, 1989.
- CALBO, M.E.R.; MORAES, J.A.P.V. Fotossíntese, condutância estomática, transpiração e ajustamento osmótico de plantas de buriti submetidas a estresse hídrico. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.9, p.117–123, 1997.
- CALBO, M.E.R. **Trocas gasosas do açaí e buriti sob estresse de déficit de água e crescimento, porosidade e trocas gasosas do buriti sob inundação**. 1996. 123 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP.
- DIAS, D.P.; MARENCO, R.A. Fotossíntese e fotoinibição em mogno e acariquara em função da luminosidade e temperatura foliar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.305–311, 2007.
- FRANCO, A.C. **Relações hídricas em plantas do cerrado**: As plantas lenhosas do cerrado transpiram livremente? In: PRADO, C.H.B.A.; CASALI, C.A. Fisiologia Vegetal: práticas em relações hídricas, fotossíntese e nutrição mineral. Barueri: Manole, 2006, 466 p.

GONÇALVES, J.F.C.; SILVA, C.E.; GUIMARÃES, D.G.; BERNARDES, R.S. Análise dos transientes da fluorescência da clorofila a de plantas jovens de *Carapa guianensis* e de *Dipteryx odorata* submetidas a dois ambientes de luz. **Acta Amazônica**, v.40, p.89 – 98, 2010.

MAGALHÃES FILHO, J.R.; AMARAL, L.R.D.; MACHADO, D.F.S.P.; MEDINA, C.L.; MACHADO, E.C. Deficiência hídrica, trocas gasosas e crescimento de raízes em laranjeira ‘Valência’ sobre dois tipos de porta enxertos. **Bragantia**, v.67, p.75–82, 2008.

Mato Grosso Do Sul. Secretaria de Planejamento e coordenação Geral & IBGE. **Atlas Multireferencial do Estado de Mato Grosso do Sul**. Campo Grande, Convênio com o Governo do Estado e Fundação IBGE. 1990.

MEDRANO, H.; ESCALONA, J.M.; BOTA, J.; GULIAS, J.; FLEXAS, J. Regulation of photosynthesis of C3 plants in response to progressive drought: stomatal conductance as a reference parameter. **Annals of Botany**, v.89, p.895–905, 2002.

OLIVEIRA, M.A.J.; BOVI, M.L.A.; MACHADO, E.C.; GOMES, M.M.A.; HABERMANN, G.; RODRIGUES, J.D. Fotossíntese, condutância estomática e transpiração em pupunheira sob deficiência hídrica. **Scientia Agricola**, v.59, p.59–63, 2002.

PARRY, M.A.J.; ANDRALOJC, P.J.; KHAN, S.; LEA, P.J.; KEYS, A.J. Rubisco activity: effects of drought stress. **Annals of Botany**, v.89, p.833–839, 2002.

ROCHA, A.M.S.; MORAES, J.A.P.V. Influência do estresse hídrico sobre as Trocas gasosas em plantas jovens envasadas de *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville. **Revista Brasileira de Fisiologia vegetal**, v.9, p.41–46, 1997.

SANTOS, P.C.G.S.; ALVES, E.U.; GUEDES, R.S.; SILVA, K.B.; CARDOSO, E.A.; LIMA, C.R. Qualidade de sementes de *Hancornia speciosa* Gomes em função do tempo de secagem. **Semina: Ciências Agrárias**, v.31, p.343–352, 2010.

SILVA, E.C.; NOGUEIRA, R.J.M.C.; VALE, F.H.A.; ARAÚJO, F.P.; PIMENTA, M.A. Stomatal changes induced by intermittent drought in four umbu tree genotypes. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.21, p.33–42, 2009.

SOUZA, F.G.; FIGUEIREDO, R.W.; ALVES, R.E.; MAIA, G.A.; ARAÚJO, I.A. Qualidade pós-colheita de frutos de diferentes clones de mangabeira (*Hancornia speciosa* GOMES). **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, p.1449–1454, 2007.

THACH, L.B.; SHAPCOTT, A.; SCHMIDT, S.; CRITCHLEY, C. The OJIP fast fluorescence rise characterizes *Graptophyllum* species and their stress responses. **Photosynthesis Research Journal**, v.94, p.423–436, 2007.

**CAPÍTULO II - Gas exchange and photosynthetic activity in *Caryocar brasiliense*
Cambess. seedlings under water deficit conditions and during rehydration**

Abstract - The present study evaluated gas exchange and the photosynthetic activity of *Caryocar brasiliense* Cambess seedlings under water deficit conditions and their capacity for recuperation after rehydration. Twenty month-old seedlings were used, being evaluated 7, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 23 and 31 days after suspending irrigation; irrigation was reinitiated when their photosynthetic rate reached near-zero values. Control seedlings were maintained at 70% of their soil water retention capacity under 70% shading. We evaluated the plants' photosynthetic rates, internal carbon concentrations, stomatal conductance, transpiration rates, water-use efficiency, instantaneous carboxylation efficiency, chlorophyll index, and photosystem II quantum efficiency. All of the gas exchange parameters became reduced following the suspension of irrigation. Twelve days were needed for the seedlings' photosynthetic rates to approach zero; equilibrium was reestablished 11 days after re-initiating irrigation, except in terms of internal CO₂ concentrations and stomatal conductance. Our data indicated that *C. brasiliense* seedlings subjected to water stress drastically reduced their photosynthetic activities, reaching near-zero values 12 days after the suspension of irrigation, and that this reduction was the result of the limitation of stomatal conductance and low rubisco carboxylation efficiency – but not to irreversible damage to photosystem II. All of these parameters initiated recuperation with rehydration, but only the photosynthetic rate reached initial control values (11 days after rehydration).

Keywords: Cerrado, stress, native fruit, pequi

Trocas gasosas e atividade fotossintética em mudas de *Caryocar brasiliense* Cambess. sob déficit hídrico e reidratação

Resumo - O presente estudo avaliou as trocas gasosas e a atividade fotossintética de mudas de *Caryocar brasiliense* Cambess sob condições de déficit hídrico e sua capacidade de recuperação após a reidratação. Foram utilizadas mudas de vinte meses de idade, sendo avaliada 7, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 23 e 31 dias após a suspensão da irrigação. A irrigação foi reiniciada quando a taxa fotossintética chegou perto de zero valores. As plântulas controle foram mantidos em 70% da sua capacidade de retenção de água no solo e sob 70% de sombreamento. Foram avaliadas as taxas de fotossíntese das plantas, as concentrações de carbono interno, condutância estomática, transpiração, eficiência do uso da água, eficiência instantânea de carboxilação, índice de clorofila e a eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_m). Todos os parâmetros de trocas gasosas foram reduzidos após a suspensão da irrigação. Doze dias foram necessários para taxas fotossintéticas das mudas se aproximar de zero. O equilíbrio foi restabelecido 11 dias após a reidratação, exceto em termos de concentrações de CO_2 internos e condutância estomática. Nossos dados indicam que as mudas de *C. brasiliense* submetidas a estresse hídrico reduziu drasticamente suas atividades fotossintéticas, chegando a quase zero os valores 12 dias após a suspensão da irrigação, e que esta redução foi o resultado da limitação de condutância estomática e baixa eficiência de carboxilação da rubisco, mas não causou danos irreversíveis ao fotossistema II. Todos estes parâmetros iniciou recuperação com reidratação, mas apenas a taxa fotossintética atingiu valores iniciais de controle (11 dias após a reidratação).

Palavras-chave: Cerrado, estresse, fruta nativa, pequi

Introduction

Cerrado (Neotropical savanna) is the second largest Brazilian biome and, according to a review prepared by Klink & Machado (2005), it demonstrates great biodiversity— with more vascular plants than found in most other regions of the world. These same authors noted, however, that the destruction of Cerrado ecosystems has been proceeding rapidly and by 2004 approximately 55% of the total area of this biome had been deforested or transformed through anthropogenic actions. As such, it will be important to better understand the abiotic factors that can affect natural regeneration and/or reforestation programs using native Cerrado plants.

Water deficits alter plant physiological processes, principally gas exchange, thus limiting photosynthetic processes and the synthesis of organic solutes (and consequently the growth and primary production of plants) as carbon absorption is restricted (CHARTZOULAKIS et al., 2002). During the dry season the seedlings of woody Cerrado species have been observed to have photosynthetic rates very near-zero, presumably due to severe transpirations (FRANCO, 2006; MARIANO et al., 2009).

Although measurements of gas exchange as regulated by stomatal movements are important in determining photosynthetic rates, they are not efficient in evaluating deleterious stress effects on chloroplasts (DURÃES, 2005). Reductions of photosynthetic activities due environmental stress are the result of the inhibition of photosystem II activity, and can be evaluated as diminishing chlorophyll fluorescence (CAMEJO et al., 2005).

A number of researchers have examined the effects of water deficits on different plant species to determine their tolerance mechanisms (MEDRANO et al., 2002; PARRY, 2002; FRANCO, 2006; MARIANO et al., 2009; GONÇALVES et al., 2009; PACHECO et al., 2011). The results of these investigations have been useful in arboreal species plantation projects and could be used to perfect silvicultural techniques using species such as *Caryocar*

brasiliense Cambess, a tropical tree of the Caryocaceae family. This tree (“pequi”) has significant economic importance in the Cerrado biome in terms of its food and wood uses, and the oil extracted from its seeds is used in cosmetic and pharmaceutical industries. This species has received protected status due to its many uses, and these trees cannot be legally cut for lumber in Brazil (ALMEIDA & SILVA, 1994; RIBEIRO, 1996; SILVA NETO & COSTA, 2010).

As such, the present work sought to investigate the characteristics of the photosynthetic metabolism of "pequi" seedlings to determine their tolerance to water deficits as well as their metabolic recuperation after rehydration.

Materials and Methods

The following experiments were carried out under greenhouse conditions at the Faculdade de Ciências Agrárias of the Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), located in the municipality of Dourados, Mato Grosso do Sul State, Brazil (22°13'16"S, 54°17'01"W; 430 m a.s.l.). The regional climate is classified as cwa (MATO GROSSO DO SUL, 1990), with a mean annual rainfall of 1500 mm and mean yearly temperature of 22 °C.

Caryocar brasiliense Cambess ("pequi") seedlings were produced from seeds harvested from a native population in the Cerrado region of southern Mato Grosso State. The seedlings were cultivated in polyethylene planters (capacity 5 kg) in a substrate composed of 50% dystroferic red latosols and 50% sand (v:v), under 70% shading. At twenty months the seedlings had from 6 to 9 expanded leaves, were between 16.3 and 18.5 cm tall, with stem diameters of from 3.22 to 4.52 mm and primary roots between 24.0 and 31.0 cm long.

The cultivation planters were hydrated to 70% of their soil water retention capacity (WRC) and separated into two treatments: 1 – Control, where the seedlings were irrigated periodically to maintain the WRC; 2 – Stress treatments, in which irrigation was

suspended. Irrigation was suspended until the photosynthetic rates of the seedlings attained near-zero levels; at that time irrigation was reinitiated and maintained on a daily basis. During the experiments the seedlings were kept in an environment protected from natural rainfall.

The internal carbon concentrations (c_i - $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); stomatal conductance (g_s - $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); transpiration rate (E - $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); photosynthetic rate (A - $\mu \text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), instantaneous carboxylation efficiency (A/C_i - $\mu \text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1} / \text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), and water-use efficiency (A/E - $\mu \text{mol de CO}_2 / \text{mmol de H}_2\text{O}$) were determined using an infrared gas analyzer (IRGA) (ADC, model LCi PRO; Analytical Development Co. Ltda, Hoddesdon, UK). Water use efficiency was calculated using the A/E ratio, and the instantaneous carboxylation efficiency was calculated from the A/c_i ratio.

The chlorophyll index was obtained using a Konica Minolta, SPAD 502 chlorophyll analyzer. PS II photochemical quantum efficiency (F_v/F_m) was determined using a portable chlorophyll fluorometer (Opty- sciences, model OS-30p), examining leaves that had been maintained in the dark for 20 minutes. The leaves were subsequently exposed to a saturating light pulse ($3000 \mu \text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) for 5 seconds.

All of the measurements were performed between 08:00 and 10:00 starting at the seventh day after suspending irrigation. All measurements were performed on the same completely expanded leaf. Five seedlings were used in each treatment and evaluations undertaken 7, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 23, 31 days after suspending the irrigation regime. The irregular intervals between evaluations reflect the necessity of performing the measurements under similar climatic conditions (sunny days, without clouds). The evaluations were terminated when the photosynthetic rate approached the initial (control) rate.

The data was processed in Excel for graphic representation and for calculating the standard errors and means of each point.

Five adult plants growing in a natural environment in Cerrado vegetation in Mato Grosso do Sul State, Brazil, were also characterized in terms of their gas exchange rates and chlorophyll indices after a 30 day period with a total of 69.9 mm of rainfall (source: the meteorological station at UFGD), resulting in the following data:

Table 1. Internal CO₂ concentrations (ci), stomatal conductance (gs), transpiration rate (E), photosynthetic rate (A), instantaneous carboxylation efficiency (A/ci), and water-use efficiency (A/E) of adult "pequi" plants growing in an area of natural Cerrado vegetation. UFGD. Dourados-MS, 2013.

ci	gs	E	A	A/ci	A/E	Chlorophyll
mol m ⁻² s ⁻¹	mol m ⁻² s ⁻¹	mmol m ⁻² s ⁻¹	μmol m ⁻² s ⁻¹	μmol m ⁻² s ⁻¹ / mol m ⁻² s ⁻¹	μmol CO ₂ / mmol H ₂ O	
293.1±33.3	0.296±0.16	3.63±1.05	9.58±1.78	0.033±0.005	2.64±1.70	40.71±4.08

Results and Discussion

The mean photosynthetic rate of control seedlings of *C. brasiliense* was 7.485 μmol m⁻² s⁻¹ (Figure 1A). When the seedlings were submitted to water stress conditions there was a pronounced decrease in their photosynthetic rates starting at the seventh day; by the 12 day their photosynthetic rates approached zero (0.280 μmol m⁻² s⁻¹). Irrigation was reinitiated at this time. This rehydration of the seedlings exposed to water stress conditions allowed them to recuperate their photosynthetic metabolism and regain high photosynthetic levels, reaching control levels by the 23rd day (with a mean value of 2.585 μmol m⁻² s⁻¹). The pequi seedlings therefore required only 11 days to recuperate their initial photosynthetic rates.

The internal CO₂ concentrations of the seedlings did not demonstrate the same response to the water deficit as the photosynthetic rate (Figure 1B). Starting at the 14th day the seedlings demonstrated a decrease in their internal CO₂ concentrations, with a small recuperation by the 18th day, although they did not re-attain values near those of the control seedlings.

The transpiration rates of the water stressed seedlings demonstrated reductions similar to those of the photosynthetic rate. The transpiration values of the stressed seedlings were inferior to those of the control seedlings during the entire evaluation period (Figure 1C). The stressed seedlings demonstrated increases in their transpiration rates after re-initiating irrigation, although the final values never attained equality with the control seedlings (6.26 and 8.55 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ respectively). In contrast to the photosynthetic rate, and similar to internal CO_2 concentrations, the transpiration rate did not fully recuperate by the end of the evaluation period.

The stomatal conductances of the control seedlings demonstrated only small variations but were nonetheless smaller under water deficit conditions after the seventh day, reaching near-zero values by the 12th day ($0.03 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Figure 1D). Conductance values demonstrated only slow recuperations after rehydration, and did not attain initial control values by the end of the experimental period.

The water-use efficiency (A/E) of the seedlings exposed to water deficit conditions demonstrated lower values than the controls until the 14th day of evaluation (Figure 1E); after rehydration, however, the A/E values were observed to be larger than those of the control, reaching their peak on the 20th day (average $1.96 \mu\text{mol de CO}_2 / \text{mmol of H}_2\text{O}$). The control seedlings demonstrated an average A/E of $0.99 \mu\text{mol of CO}_2 / \text{mmol of H}_2\text{O}$, below the value observed in stressed seedlings (average 1.27).

The PS II quantum efficiency values (Fv/Fm) of the stressed seedlings demonstrated an accentuated decrease in carboxylation efficiency, attaining near-zero values by the 16th day after suspending irrigation; after re-initiating irrigation this efficiency increased after the 18th day, demonstrating an average of 0.78 during subsequent evaluations (Figure 1 F).

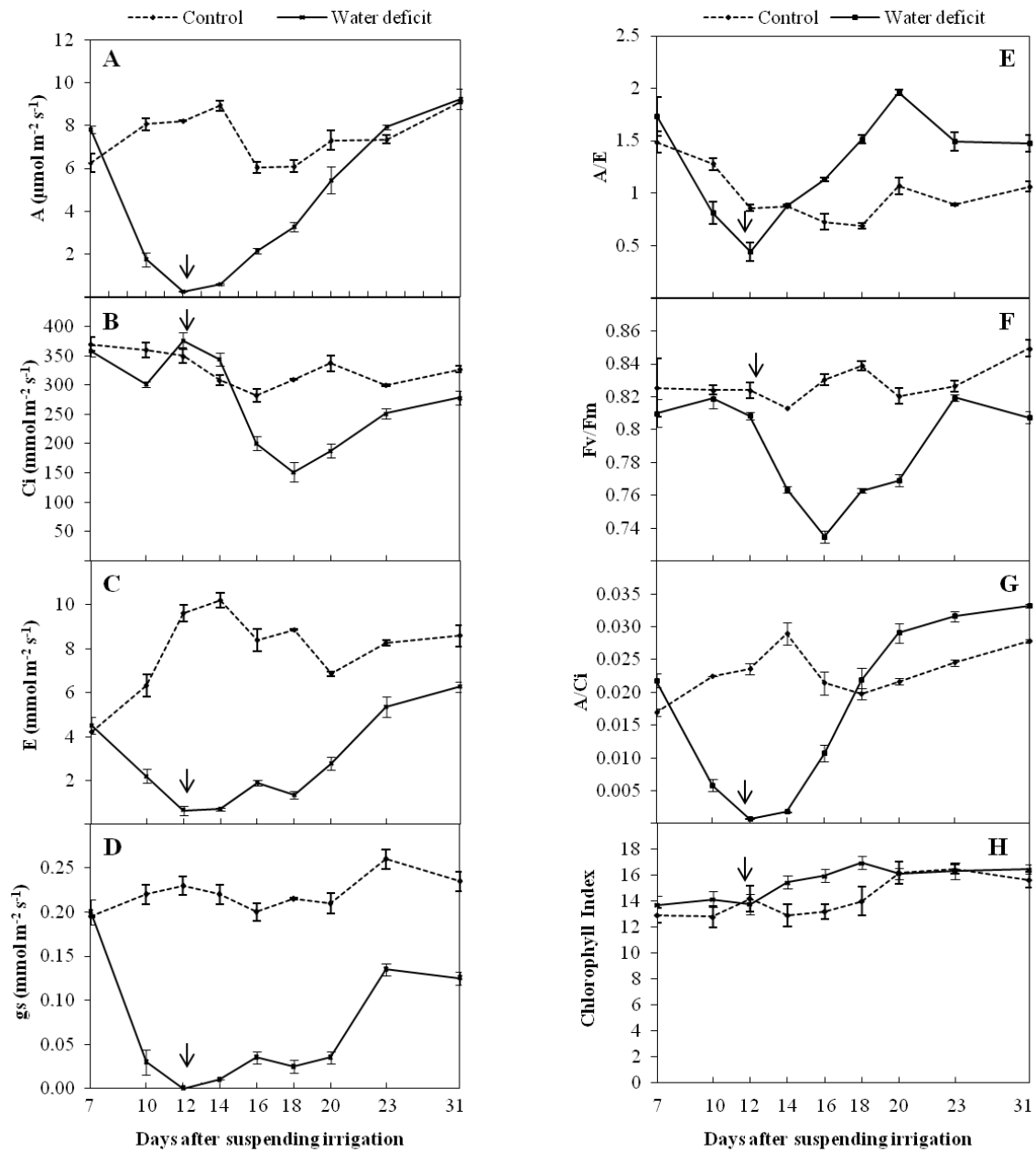


Figure 1. Mean values of the photosynthetic rate (A), internal CO₂ concentration (B), transpiration rate (C), stomatal conductance (D), water-use efficiency - A/E (E), PS II photochemical quantum efficiency (F), instantaneous carboxylation efficiency of CO₂ - A/Ci (G), and chlorophyll index (H), as a function of the evaluation days among irrigated *Caryocar brasiliense* Cambess seedlings submitted to water stress conditions. The arrows indicate the re-initiation of irrigation, and the bars represent the standard errors of the means. UFGD. Dourados-MS, 2013.

The instantaneous carboxylation efficiency (A/ci) of the stressed seedlings was greater than that observed in the control seedlings, demonstrating an accentuated decrease

between the seventh and 10th day of evaluation, with rapid recuperation after rehydration, surpassing the control again by the 18th day (Figure 1G).

The chlorophyll index of the *C. brasiliense* seedlings varied little, with the seedlings exposed to water deficit conditions demonstrating greater mean values than the controls between the 12th and 20th days of evaluation (Figure 1H).

The observed decreases in the photosynthetic rates of *C. brasiliense* seedlings could be attributed to reductions in their stomatal conductance (DIAS & MARENCO, 2007) as this closing mechanism reduces transpiration and diminishes internal CO₂ concentrations in the mesophyll, thus gradually halting the photosynthetic processes of water stressed plants.

According to Pacheco et al. (2011), plants exposed to water stress conditions normally have higher concentrations of abscisic acid (ABA) – a hormone that has various physiological and developmental effects in plants and has been identified as a messenger for water stress perception (and other environmental stress factors).

A reduction in stomatal conductance of *C. brasiliense* seedlings was observed on the seventh day after suspending irrigation; transpiration remained stable and low until approximate the 14th day, although photosynthesis was drastically reduced on the seventh day of evaluation. After rehydration, *g_s* values slowly recovered but did not attain the mean values seen in the control seedlings, suggesting that the stomata of this species are slow in rehydration recovery.

The observed results were caused by low water availability in the plants, which diminished the water potential of their leaves and resulted in the loss of turgor, which consequently reduced stomatal conductance and the photosynthetic rate (MEDRANO et al., 2002). These results indicate the existence of adaptive mechanisms in *C. brasiliense* that can diminish water losses under moderate water stress conditions.

The stomatal conductance of pequi seedlings decreased during the first 12 days immediately after interrupting irrigation, indicating that the g_s response reflected decreased soil humidity. This result suggests the existence of signaling between the plants roots and the aerial portion intermediated by growth substances, probably abscisic acid, which is produced by the roots and allows the maintenance of water levels in the leaves for longer periods of time even though the soil is progressively drying (GOMES et al., 2004; MAGALHÃES FILHO et al., 2008).

The fact that g_s was reduced and C_i remained elevated in the seedlings until re-initiating irrigation suggests that other factors act in controlling photosynthesis. According to Medrano et al. (2002) and Parry et al. (2002), drought conditions reduce metabolism in the mesophyll by diminishing the activation and activity of rubisco carboxylase. The lower efficiency of rubisco may also be the result of greater mesophyll resistance due to stomatal closure, restricting the absorption of CO_2 by the chloroplasts and increasing the action of rubisco oxygenase and (consequently) photorespiration. This result can be visualized by the rapid reduction in A/C_i , which represents the instantaneous carboxylation efficiency of CO_2 by rubisco. The recuperation of g_s in *C. brasiliense* was proportionally slower than A , which would explain the observed decrease in C_i soon after the rehydration of the leaf tissues.

There were notable continuations of various metabolic processes after rehydration, leading to an increase in water-use efficiency due to a significant increase in photosynthetic processes and the maintenance of transpiration levels, reaching maximum values (1.96) by the 20th day (8 days after re-initiating irrigation), with values slightly higher than those of the control seedlings.

Responses to water deficits vary among different plant species. Mariano et al. (2009) evaluated the effects of water stress conditions on the physiological characteristics of *Myracrodruon urundeuva* Allemão and observed similar tendencies to those seen in *C.*

brasiliense, with transpiration showing a direct relationship with stomatal conductance, resulting in less diffusion of CO₂ into the leaves and consequently reductions in photosynthetic levels. The photosynthetic indicators in young *Carapa guianensis* Aubl. plants decreased under water deficit conditions, reaching a near-zero photosynthetic rate at 21 days; the recuperation of these indicators was observed approximately 8 days after reinitiating irrigation, reestablishing all of the photosynthetic characteristics of normally irrigated plants (GONÇALVES et al., 2009).

Rocha & Moraes (1997) noted similar responses in *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville to those reported for *C. brasiliense*. These authors observed an increase in water use efficiency when stomatal conductance and transpiration levels were lowest. The high water-use efficiency of the species indicates good adaptations to drought conditions, with sufficient quantities of CO₂ being fixed for plant growth while water losses are contained in order to maintain water resource equilibrium.

In relation to PS II photochemical quantum efficiency, it was observed that water deficits did not cause any permanent damage to the photosynthetic apparatus as means of 0.82 were subsequently observed, indicating recuperation of the photosynthetic rate and Fv/Fm values. Plants with intact photosynthetic apparatuses will have maximum chlorophyll fluorescence values (Fv/Fm) between 0.75 and 0.85 (BOLHAR-NORDENKAMPF et al., 1989), with any decrease in this ratio reflecting photo inhibitory damage to the PSII reaction centers (BJÖRKMAN & DINMING, 1987; THACH et al., 2007).

As such, the results obtained in the present work indicate that the water stress conditions experienced by *C. brasiliense* seedlings were not severe enough to provoke photoinhibition, and that the light collector complex of photosystem II was not damaged. These results are similar to those reported by Queiroz et al. (2002) in *M. urundeuva* seedlings,

as the control seedlings had average values of 0.804 while seedlings after 14 days without irrigation demonstrated values of 0.798.

The maintenance of high chlorophyll levels in seedlings cultivated under water deficit regimes can be attributed to the fact that less hydration resulted in apparent higher concentrations of these pigments in the cells. Although the chlorophyll index increased under water deficit conditions, a yellowing of the leaves could be observed, indicating chlorosis. Water deficits represent one of the environmental stress factors responsible for pigment losses in leaves, due to ABA-induced relocation of metabolites to other parts of plant – causing alterations in photosynthetic rates and alterations of the growth cycle of the plant. Coscolin et al. (2011) noted in their review of the subject that reductions in chlorophyll and protein levels can be characteristic symptoms of oxidative stress in plants exposed to low soil water availability, representing the beginning of leaf senescence.

The data obtained in the present work indicates that *C. brasiliense* seedlings exposed to water stress conditions under low light levels (70% shading) show reduced photosynthetic activities, reaching near-zero values 12 days after suspending irrigation, and that this reduction was due to stomatal conductance limitations and low rubisco carboxylation efficiency – and not irreversible damage to photosystem II. All of these parameters initiated their recuperation after rehydration, but only the photosynthetic rate fully attained initial values (11 days after rehydration).

Conclusion

Exposure to water deficit conditions reduced the values all of the parameters examined in *C. brasiliense* with the exception of the chlorophyll index; the stressed seedlings required only 12 days for their photosynthetic rate to approach zero, but were able to reestablish photosynthetic equilibrium 11 days after a rehydration. The water deficit did not cause any deleterious effects on the photosynthetic apparatus of the test seedlings.

Acknowledgements

This work was supported by CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) with scholarship for the second author.

References

- ALMEIDA, S. P.; SILVA, J. A. **Piqui e buriti**: importância alimentar para a população dos cerrados. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1994. 38 p. (Documentos, 54).
- BJÖRKMAN, O.; DEMMING, B. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. **Planta**, Berlin, v. 170, n. 4, p. 61-66, 1987. Disponível em: <<http://dx.doi.org>> DOI:10.1007/BF00402983 Acesso em: 14 jun. 2013.
- BOLHÀR-NORDENKAMPF, H. R.; LONG, S. P.; BAKER, N. R.; OQUIST, G.; SCHREIDER, U.; LECHNER, E. G. Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. **Functional Ecology**, London, v. 3, p. 497-514, 1989.
- CAMEJO, D.; RODRIGUEZ, P.; MORALES, M. A.; AMICO, J. M. D.; TORRECILLAS, A. ALARCON, J. J. High temperature effects on photosynthetic activity of two tomato cultivars with different heat susceptibility. **Journal of Plant Physiology**, v. 162, p. 281-289, 2005.
- CHARZOULAKIS, K.; PATAKAS, A.; KOFIDIS, G.; BOSABALIDIS, A.; NASTOU, A. Water stress affects leaf anatomy, gas exchange, water relations and growth of two avocado cultivars. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 95, p. 39-50, 2002.
- COSCOLIN, R. B. S.; BROETTO, F.; MARCHESI, J. A.; CAMPOHERMOSO, M. C.; PALADINI, M.V. Effects of hydric deficiency on gas exchange parameters and metabolism of *Eucalyptus grandis* clones. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, vol. 23, n.4, p. 255-262, 2001.
- DIAS, D. P.; MARENCO, R. A. Fotossíntese e fotoinibição em mogno e acariquara em função da luminosidade e temperatura foliar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 3, p. 305-311. 2007.
- DURÃES, F. O. M.; MAGALHÃES, P. C.; GAMA, E. E. G.; OLIVEIRA, A. C. Caracterização fenotípica de linhagens de milho quanto ao rendimento e à eficiência fotossintética. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 4, n. 3, p 355-361, 2005.
- FRANCO, A. C. **Relações hídricas em plantas do cerrado**: As plantas lenhosas do cerrado transpiram livremente? In: PRADO, C.H.B.A.; CASALI, C.A. Fisiologia Vegetal: práticas em relações hídricas, fotossíntese e nutrição mineral. Barueri: Manole, 466 p. 2006.

GOMES, M. M. A.; LAGÔA, A. M. M. A.; MEDINA, C. L.; MACHADO, E.C.; MACHADO, M. A. Interactions between leaf water potential, stomatal conductance and abscisic acid content of orange trees submitted to drought stress. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 16, p. 155-161, 2004.

GONÇALVES, J. F. C.; SILVA, C. E. M.; GUIMARÃES, D. G. Fotossíntese e potencial hídrico foliar de plantas jovens de andiroba submetidas à deficiência hídrica e à reidratação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.1, p.8-14, 2009.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. Conservação do Cerrado Brasileiro. **Megadiversidade**, v.1, n.1, p.147-155, Julho, 2005.

MAGALHÃES FILHO, J. R.; AMARAL, L. R. D.; MACHADO, D. F. S. P.; MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C. Deficiência hídrica, trocas gasosas e crescimento de raízes em laranjeira 'Valência' sobre dois tipos de porta enxertos. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 1, p. 75-82, 2008.

MARIANO, K. R. S.; BARRETO, L. S.; SILVA, A. H. B.; NEIVA, G. K. P.; RIBEIRO, A. J.; AMORIM, S. M. C. Fotossíntese e tolerância protoplasmática foliar em *Myracrodruon urundeuva* FR. ALL. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 4, p. 853-859, 2009.

MATO GROSSO DO SUL. Secretaria de Planejamento e coordenação Geral & IBGE. **Atlas Multireferencial do Estado de Mato Grosso do Sul**. Campo Grande, Convênio com o Governo do Estado e Fundação IBGE, 1990.

MEDRANO, H.; ESCALONA, J. M.; BOTA, J.; GULIAS, J.; FLEXAS, J. Regulation of photosynthesis of C3 plants in response to progressive drought: stomatal conductance as a reference parameter. **Annals of Botany**, Oxford, v. 89, n. 4, p. 895-905, 2002.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; MORAES, J. A. P. M.; BURITY, H. A.; BEZERRA NETO E. Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleiras submetidas a déficit de água. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 13, p. 75-87, 2001.

PACHECO, A. C.; CAMARGO, P. R.; SOUZA, C. G. M.. Deficiência hídrica e aplicação de ABA nas trocas gasosas e no acúmulo de flavonoides em calêndula (*Calendula officinalis* L.). **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 2, 2011.

PARRY, M. A. J.; ANDRALOJC, P. J.; KHAN, S.; LEA, P. J. KEYS, A. J. Rubisco activity: effects of drought stress. **Annals of Botany**, Oxford, v, 89, n. 3, p. 833-839, 2002.

QUEIROZ, C. G. S., GARCIA, Q.S.; LEMOS FILHO, J. P. Atividade fotossintética e peroxidação de lipídios de membrana em plantas de aroeira-do-sertão sob estresse hídrico e após reidratação **Brazilian Journal Plant Physiology**, v.14, n.1, p.59-63, 2002

ROCHA, A. M. S.; MORAES, J. A. P. V. Influência do estresse hídrico sobre as Trocas gasosas em plantas jovens envasadas de *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville. **Revista Brasileira de Fisiologia vegetal**, Campinas, v. 9, n. 1, p. 41-46, 1997.

SILVA, E. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; VALE, F. H. A.; ARAÚJO, F. P.; PIMENTA, M. A. Stomatal changes induced by intermittent drought in four umbu tree genotypes. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 21, n. 1, p. 33-42, 2009.

SILVA NETO, S. P. da; COSTA, C. J. Importância econômica, social e ambiental do pequi. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010. Disponível em: <<http://www.cpac.embrapa.br/noticias/artigosmidia/publicados/279/>>. Acesso em: 2 ago. 2013.

THACH, L. B.; SHAPCOTT, A.; SCHMIDT, S.; CRITCHLEY, C. The OJIP fast fluorescence rise characterizes *Graptophyllum* species and their stress responses. **Photosynthesis Research Journal**, Amsterdam, v. 94, p. 423-436, 2007.

ANEXOS

Anexo 1: Normas para Publicação da Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira (PAB)

Diretrizes para Autores

Escopo e política editorial

A revista Pesquisa Agropecuária Brasileira (PAB) é uma publicação mensal da Embrapa, que edita e publica trabalhos técnico-científicos originais, em português, espanhol ou inglês, resultantes de pesquisas de interesse agropecuário. A principal forma de contribuição é o Artigo, mas a PAB também publica Notas Científicas e Revisões a convite do Editor.

Análise dos artigos

A Comissão Editorial faz a análise dos trabalhos antes de submetê-los à assessoria científica. Nessa análise, consideram-se aspectos como escopo, apresentação do artigo segundo as normas da revista, formulação do objetivo de forma clara, clareza da redação, fundamentação teórica, atualização da revisão da literatura, coerência e precisão da metodologia, resultados com contribuição significativa, discussão dos fatos observados em relação aos descritos na literatura, qualidade das tabelas e figuras, originalidade e consistência das conclusões. Após a aplicação desses critérios, se o número de trabalhos aprovados ultrapassa a capacidade mensal de publicação, é aplicado o critério da relevância relativa, pelo qual são aprovados os trabalhos cuja contribuição para o avanço do conhecimento científico é considerada mais significativa. Esse critério é aplicado somente aos trabalhos que atendem aos requisitos de qualidade para publicação na revista, mas que, em razão do elevado número, não podem ser todos aprovados para publicação. Os trabalhos rejeitados são devolvidos aos autores e os demais são submetidos à análise de assessores científicos, especialistas da área técnica do artigo.

Forma e preparação de manuscritos

Os trabalhos enviados à PAB devem ser inéditos (não terem dados – tabelas e figuras – publicadas parcial ou integralmente em nenhum outro veículo de divulgação técnico-científica, como boletins institucionais, anais de eventos, comunicados técnicos, notas científicas etc.) e não podem ter sido encaminhados simultaneamente a outro periódico científico ou técnico. Dados publicados na forma de resumos, com mais de 250 palavras, não devem ser incluídos no trabalho.

- São considerados, para publicação, os seguintes tipos de trabalho: Artigos Científicos, Notas Científicas e Artigos de Revisão, este último a convite do Editor.

- Os trabalhos publicados na PAB são agrupados em áreas técnicas, cujas principais são: Entomologia, Fisiologia Vegetal, Fitopatologia, Fitotecnia, Fruticultura, Genética, Microbiologia, Nutrição Mineral, Solos e Zootecnia.

- O texto deve ser digitado no editor de texto Microsoft Word, em espaço duplo, fonte Times New Roman, corpo 12, folha formato A4, com margens de 2,5 cm e com páginas e linhas numeradas.

Informações necessárias na submissão on-line de trabalhos

No passo 1 da submissão (Início), em “comentários ao editor”, informar a relevância e o aspecto inédito do trabalho.

No passo 2 da submissão (Transferência do manuscrito), carregar o trabalho completo em arquivo Microsoft Word.

No passo 3 da submissão (Inclusão de metadados), em “resumo da biografia” de cada autor, informar o link do sistema de currículos lattes (ex.: <http://lattes.cnpq.br/0577680271652459>). Clicar em “incluir autor” para inserir todos os coautores do trabalho, na ordem de autoria.

Ainda no passo 3, copiar e colar o título, resumo e termos para indexação (key words) do trabalho nos respectivos campos do sistema.

No passo 4 da submissão (Transferência de documentos suplementares), carregar, no sistema on-line da revista PAB, um arquivo Word com todas as cartas (mensagens) de concordância dos coautores coladas conforme as explicações abaixo:

- Colar um e-mail no arquivo word de cada coautor de concordância com o seguinte conteúdo:

“Eu, ..., concordo com o conteúdo do trabalho intitulado “.....” e com a submissão para a publicação na revista PAB.

Como fazer:

Peça ao coautor que lhe envie um e-mail de concordância, encaminhe-o para o seu próprio e-mail (assim gerará os dados da mensagem original: assunto, data, de e para), marque todo o email e copie e depois cole no arquivo word. Assim, teremos todas as cartas de concordâncias dos co-autores num mesmo arquivo.

Organização do Artigo Científico

A ordenação do artigo deve ser feita da seguinte forma:

- Artigos em inglês - Título, autoria, endereços institucionais e eletrônicos, Abstract, Index terms, título em português, Resumo, Termos para indexação, Introduction, Materials and Methods, Results and Discussion, Conclusions, Acknowledgements, References, tables, figures.

- Artigos em espanhol - Título, autoria, endereços institucionais e eletrônicos, Resumen, Términos para indexación; título em inglês, Abstract, Index terms, Introducción, Materiales y Métodos, Resultados y Discusión, Conclusiones, Agradecimientos, Referencias, cuadros e figuras.

- O título, o resumo e os termos para indexação devem ser vertidos fielmente para o inglês, no caso de artigos redigidos em português e espanhol, e para o português, no caso de artigos redigidos em inglês.

- O artigo científico deve ter, no máximo, 20 páginas, incluindo-se as ilustrações (tabelas e figuras), que devem ser limitadas a seis, sempre que possível.

Título

- Deve representar o conteúdo e o objetivo do trabalho e ter no máximo 15 palavras, incluindo-se os artigos, as preposições e as conjunções.

- Deve ser grafado em letras minúsculas, exceto a letra inicial, e em negrito.

- Deve ser iniciado com palavras chaves e não com palavras como “efeito” ou “influência”.

- Não deve conter nome científico, exceto de espécies pouco conhecidas; neste caso, apresentar somente o nome binário.

- Não deve conter subtítulo, abreviações, fórmulas e símbolos.

- As palavras do título devem facilitar a recuperação do artigo por índices desenvolvidos por bases de dados que catalogam a literatura.

Nomes dos autores

- Grafar os nomes dos autores com letra inicial maiúscula, por extenso, separados por vírgula; os dois últimos são separados pela conjunção “e”, “y” ou “and”, no caso de artigo em português, espanhol ou em inglês, respectivamente.

- O último sobrenome de cada autor deve ser seguido de um número em algarismo arábico, em forma de expoente, entre parênteses, correspondente à chamada de endereço do autor.

Endereço dos autores

- São apresentados abaixo dos nomes dos autores, o nome e o endereço postal completos da instituição e o endereço eletrônico dos autores, indicados pelo número em algarismo arábico, entre parênteses, em forma de expoente.
- Devem ser agrupados pelo endereço da instituição.
- Os endereços eletrônicos de autores da mesma instituição devem ser separados por vírgula.

Resumo

- O termo Resumo deve ser grafado em letras minúsculas, exceto a letra inicial, na margem esquerda, e separado do texto por travessão.
- Deve conter, no máximo, 200 palavras, incluindo números, preposições, conjunções e artigos.
- Deve ser elaborado em frases curtas e conter o objetivo, o material e os métodos, os resultados e a conclusão.
- Não deve conter citações bibliográficas nem abreviaturas.
- O final do texto deve conter a principal conclusão, com o verbo no presente do indicativo.

Termos para indexação

- A expressão Termos para indexação, seguida de dois-pontos, deve ser grafada em letras minúsculas, exceto a letra inicial.
- Os termos devem ser separados por vírgula e iniciados com letra minúscula.
- Devem ser no mínimo três e no máximo seis, considerando-se que um termo pode possuir duas ou mais palavras.
- Não devem conter palavras que componham o título.
- Devem conter o nome científico (só o nome binário) da espécie estudada.
- Devem, preferencialmente, ser termos contidos no [AGROVOC: Multilingual Agricultural Thesaurus](#) ou no [Índice de Assuntos da base SciELO](#).

Introdução

- A palavra Introdução deve ser centralizada e grafada com letras minúsculas, exceto a letra inicial, e em negrito.
- Deve apresentar a justificativa para a realização do trabalho, situar a importância do problema científico a ser solucionado e estabelecer sua relação com outros trabalhos publicados sobre o assunto.
- O último parágrafo deve expressar o objetivo de forma coerente com o descrito no início do Resumo.

Material e Métodos

- A expressão Material e Métodos deve ser centralizada e grafada em negrito; os termos Material e Métodos devem ser grafados com letras minúsculas, exceto as letras iniciais.
- Deve ser organizado, de preferência, em ordem cronológica.
- Deve apresentar a descrição do local, a data e o delineamento do experimento, e indicar os tratamentos, o número de repetições e o tamanho da unidade experimental.

- Deve conter a descrição detalhada dos tratamentos e variáveis.
- Deve-se evitar o uso de abreviações ou as siglas.
- Os materiais e os métodos devem ser descritos de modo que outro pesquisador possa repetir o experimento.
- Devem ser evitados detalhes supérfluos e extensas descrições de técnicas de uso corrente.
- Deve conter informação sobre os métodos estatísticos e as transformações de dados.
- Deve-se evitar o uso de subtítulos; quando indispensáveis, grafá-los em negrito, com letras minúsculas, exceto a letra inicial, na margem esquerda da página.

Resultados e Discussão

- A expressão Resultados e Discussão deve ser centralizada e grafada em negrito, com letras minúsculas, exceto a letra inicial.
- Todos os dados apresentados em tabelas ou figuras devem ser discutidos.
- As tabelas e figuras são citadas sequencialmente.
- Os dados das tabelas e figuras não devem ser repetidos no texto, mas discutidos em relação aos apresentados por outros autores.
- Evitar o uso de nomes de variáveis e tratamentos abreviados.
- Dados não apresentados não podem ser discutidos.
- Não deve conter afirmações que não possam ser sustentadas pelos dados obtidos no próprio trabalho ou por outros trabalhos citados.
- As chamadas às tabelas ou às figuras devem ser feitas no final da primeira oração do texto em questão; se as demais sentenças do parágrafo referirem-se à mesma tabela ou figura, não é necessária nova chamada.
- Não apresentar os mesmos dados em tabelas e em figuras.
- As novas descobertas devem ser confrontadas com o conhecimento anteriormente obtido.

Conclusões

- O termo Conclusões deve ser centralizado e grafado em negrito, com letras minúsculas, exceto a letra inicial.
- Devem ser apresentadas em frases curtas, sem comentários adicionais, com o verbo no presente do indicativo.
- Devem ser elaboradas com base no objetivo do trabalho.
- Não podem consistir no resumo dos resultados.
- Devem apresentar as novas descobertas da pesquisa.
- Devem ser numeradas e no máximo cinco.

Agradecimentos

- A palavra Agradecimentos deve ser centralizada e grafada em negrito, com letras minúsculas, exceto a letra inicial.
- Devem ser breves e diretos, iniciando-se com “Ao, Aos, À ou Às” (pessoas ou instituições).

- Devem conter o motivo do agradecimento.

Referências

- A palavra *Referências* deve ser centralizada e grafada em negrito, com letras minúsculas, exceto a letra inicial.
- Devem ser de fontes atuais e de periódicos: pelo menos 70% das referências devem ser dos últimos 10 anos e 70% de artigos de periódicos.
- Devem ser normalizadas de acordo com a NBR 6023 da ABNT, com as adaptações descritas a seguir.
- Devem ser apresentadas em ordem alfabética dos nomes dos autores, separados por ponto-e-vírgula, sem numeração.
- Devem apresentar os nomes de todos os autores da obra.
- Devem conter os títulos das obras ou dos periódicos grafados em negrito.
- Devem conter somente a obra consultada, no caso de citação de citação.
- Todas as referências devem registrar uma data de publicação, mesmo que aproximada.
- Devem ser trinta, no máximo.

Exemplos:

- Artigos de Anais de Eventos (aceitos apenas trabalhos completos)

AHRENS, S. A fauna silvestre e o manejo sustentável de ecossistemas florestais. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 3., 2004, Santa Maria. **Anais**. Santa Maria: UFSM, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, 2004. p.153-162.

- Artigos de periódicos

SANTOS, M.A. dos; NICOLÁS, M.F.; HUNGRIA, M. Identificação de QTL associados à simbiose entre *Bradyrhizobium japonicum*, *B. elkanii* e soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.67-75, 2006.

- Capítulos de livros

AZEVEDO, D.M.P. de; NÓBREGA, L.B. da; LIMA, E.F.; BATISTA, F.A.S.; BELTRÃO, N.E. de M. Manejo cultural. In: AZEVEDO, D.M.P.; LIMA, E.F. (Ed.). **O agronegócio da mamona no Brasil**. Campina Grande: Embrapa Algodão; Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. p.121-160.

- Livros

OTSUBO, A.A.; LORENZI, J.O. **Cultivo da mandioca na Região Centro-Sul do Brasil**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2004. 116p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Sistemas de produção, 6).

- Teses

HAMADA, E. **Desenvolvimento fenológico do trigo (cultivar IAC 24 - Tucuruí), comportamento espectral e utilização de imagens NOAA-AVHRR**. 2000. 152p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

- Fontes eletrônicas

EMBRAPA AGROPECUÁRIA OESTE. **Avaliação dos impactos econômicos, sociais e ambientais da pesquisa da Embrapa Agropecuária Oeste**: relatório do ano de 2003. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2004. 97p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 66). Disponível em: . Acesso em: 18 abr. 2006.

Citações

- Não são aceitas citações de resumos, comunicação pessoal, documentos no prelo ou qualquer outra fonte, cujos dados não tenham sido publicados. - A autocitação deve ser evitada. - Devem ser normalizadas de acordo com a NBR 10520 da ABNT, com as adaptações descritas a seguir.

- Redação das citações dentro de parênteses

- Citação com um autor: sobrenome grafado com a primeira letra maiúscula, seguido de vírgula e ano de publicação.

- Citação com dois autores: sobrenomes grafados com a primeira letra maiúscula, separados pelo "e" comercial (&), seguidos de vírgula e ano de publicação.

- Citação com mais de dois autores: sobrenome do primeiro autor grafado com a primeira letra maiúscula, seguido da expressão et al., em fonte normal, vírgula e ano de publicação.

- Citação de mais de uma obra: deve obedecer à ordem cronológica e em seguida à ordem alfabética dos autores.

- Citação de mais de uma obra dos mesmos autores: os nomes destes não devem ser repetidos; colocar os anos de publicação separados por vírgula.

- Citação de citação: sobrenome do autor e ano de publicação do documento original, seguido da expressão "citado por" e da citação da obra consultada.

- Deve ser evitada a citação de citação, pois há risco de erro de interpretação; no caso de uso de citação de citação, somente a obra consultada deve constar da lista de referências.

- Redação das citações fora de parênteses

- Citações com os nomes dos autores incluídos na sentença: seguem as orientações anteriores, com os anos de publicação entre parênteses; são separadas por vírgula.

Fórmulas, expressões e equações matemáticas

- Devem ser iniciadas à margem esquerda da página e apresentar tamanho padronizado da fonte Times New Roman.

- Não devem apresentar letras em itálico ou negrito, à exceção de símbolos escritos convencionalmente em itálico.

Tabelas

- As tabelas devem ser numeradas sequencialmente, com algarismo arábico, e apresentadas em folhas separadas, no final do texto, após as referências.

- Devem ser auto-explicativas.

- Seus elementos essenciais são: título, cabeçalho, corpo (colunas e linhas) e coluna indicadora dos tratamentos ou das variáveis.

- Os elementos complementares são: notas-de-rodapé e fontes bibliográficas.

- O título, com ponto no final, deve ser precedido da palavra Tabela, em negrito; deve ser claro, conciso e completo; deve incluir o nome (vulgar ou científico) da espécie e das variáveis dependentes.

- No cabeçalho, os nomes das variáveis que representam o conteúdo de cada coluna devem ser grafados por extenso; se isso não for possível, explicar o significado das abreviaturas no título ou nas notas-de-rodapé.
- Todas as unidades de medida devem ser apresentadas segundo o Sistema Internacional de Unidades.
- Nas colunas de dados, os valores numéricos devem ser alinhados pelo último algarismo.
- Nenhuma célula (cruzamento de linha com coluna) deve ficar vazia no corpo da tabela; dados não apresentados devem ser representados por hífen, com uma nota-de-rodapé explicativa.
- Na comparação de médias de tratamentos são utilizadas, no corpo da tabela, na coluna ou na linha, à direita do dado, letras minúsculas ou maiúsculas, com a indicação em nota-de-rodapé do teste utilizado e a probabilidade.
- Devem ser usados fios horizontais para separar o cabeçalho do título, e do corpo; usá-los ainda na base da tabela, para separar o conteúdo dos elementos complementares. Fios horizontais adicionais podem ser usados dentro do cabeçalho e do corpo; não usar fios verticais.
- As tabelas devem ser editadas em arquivo Word, usando os recursos do menu Tabela; não fazer espaçamento utilizando a barra de espaço do teclado, mas o recurso recuo do menu Formatar Parágrafo.
- Notas de rodapé das tabelas
- Notas de fonte: indicam a origem dos dados que constam da tabela; as fontes devem constar nas referências.
- Notas de chamada: são informações de caráter específico sobre partes da tabela, para conceituar dados. São indicadas em algarismo arábico, na forma de expoente, entre parênteses, à direita da palavra ou do número, no título, no cabeçalho, no corpo ou na coluna indicadora. São apresentadas de forma contínua, sem mudança de linha, separadas por ponto.
- Para indicação de significância estatística, são utilizadas, no corpo da tabela, na forma de expoente, à direita do dado, as chamadas ns (não-significativo); * e ** (significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente).

Figuras

- São consideradas figuras: gráficos, desenhos, mapas e fotografias usados para ilustrar o texto.
- Só devem acompanhar o texto quando forem absolutamente necessárias à documentação dos fatos descritos.
- O título da figura, sem negrito, deve ser precedido da palavra Figura, do número em algarismo arábico, e do ponto, em negrito.
- Devem ser auto-explicativas.
- A legenda (chave das convenções adotadas) deve ser incluída no corpo da figura, no título, ou entre a figura e o título.
- Nos gráficos, as designações das variáveis dos eixos X e Y devem ter iniciais maiúsculas, e devem ser seguidas das unidades entre parênteses.
- Figuras não-originais devem conter, após o título, a fonte de onde foram extraídas; as fontes devem ser referenciadas.
- O crédito para o autor de fotografias é obrigatório, como também é obrigatório o crédito para o autor de desenhos e gráficos que tenham exigido ação criativa em sua elaboração. - As unidades, a fonte (Times New Roman) e o corpo das letras em todas as figuras devem ser padronizados.
- Os pontos das curvas devem ser representados por marcadores contrastantes, como: círculo, quadrado, triângulo ou losango (cheios ou vazios).

- Os números que representam as grandezas e respectivas marcas devem ficar fora do quadrante.
- As curvas devem ser identificadas na própria figura, evitando o excesso de informações que comprometa o entendimento do gráfico.
- Devem ser elaboradas de forma a apresentar qualidade necessária à boa reprodução gráfica e medir 8,5 ou 17,5 cm de largura.
- Devem ser gravadas nos programas Word, Excel ou Corel Draw, para possibilitar a edição em possíveis correções.
- Usar fios com, no mínimo, 3/4 ponto de espessura.
- No caso de gráfico de barras e colunas, usar escala de cinza (exemplo: 0, 25, 50, 75 e 100%, para cinco variáveis).
- Não usar negrito nas figuras.
- As figuras na forma de fotografias devem ter resolução de, no mínimo, 300 dpi e ser gravadas em arquivos extensão TIF, separados do arquivo do texto.
- Evitar usar cores nas figuras; as fotografias, porém, podem ser coloridas.

Notas Científicas

- Notas científicas são breves comunicações, cuja publicação imediata é justificada, por se tratar de fato inédito de importância, mas com volume insuficiente para constituir um artigo científico completo.

Apresentação de Notas Científicas

- A ordenação da Nota Científica deve ser feita da seguinte forma: título, autoria (com as chamadas para endereço dos autores), Resumo, Termos para indexação, título em inglês, Abstract, Index terms, texto propriamente dito (incluindo introdução, material e métodos, resultados e discussão, e conclusão, sem divisão), Referências, tabelas e figuras.
- As normas de apresentação da Nota Científica são as mesmas do Artigo Científico, exceto nos seguintes casos:
- Resumo com 100 palavras, no máximo.
- Deve ter apenas oito páginas, incluindo-se tabelas e figuras.
- Deve apresentar, no máximo, 15 referências e duas ilustrações (tabelas e figuras).

Outras informações

- Não há cobrança de taxa de publicação.
- Os manuscritos aprovados para publicação são revisados por no mínimo dois especialistas.
- O editor e a assessoria científica reservam-se o direito de solicitar modificações nos artigos e de decidir sobre a sua publicação.
- São de exclusiva responsabilidade dos autores as opiniões e conceitos emitidos nos trabalhos.
- Os trabalhos aceitos não podem ser reproduzidos, mesmo parcialmente, sem o consentimento expresso do editor da PAB.

Contatos com a secretaria da revista podem ser feitos por telefone: (61)3448-4231 e 3273-9616, fax: (61)3340-5483, via e-mail: pab@sct.embrapa.br ou pelos correios:

Embrapa Informação Tecnológica Pesquisa Agropecuária Brasileira – PAB

Caixa Postal 040315 CEP 70770 901 Brasília, DF

Condições para submissão

Como parte do processo de submissão, os autores são obrigados a verificar a conformidade da submissão em relação a todos os itens listados a seguir. As submissões que não estiverem de acordo com as normas serão devolvidas aos autores.

1. O manuscrito deve ser inédito e não pode ter sido submetido, simultaneamente, a outro periódico, e seus dados (tabelas e figuras) não podem ter sido publicados parcial ou totalmente em outros meio de publicação técnicos ou científicos (boletins institucionais, anais de eventos, comunicados técnicos, notas científicas, etc.).
2. O texto deve ser submetido no formato do Microsoft Word, em espaço duplo, escrito na fonte Times New Roman 12, tamanho de papel A4, com páginas e linhas numeradas; e o arquivo não deve ultrapassar o tamanho de 20 MB.
3. O artigo deve ter, no máximo, 20 páginas e tem que estar organizado na seguinte ordem: Título; nome completo dos autores, seguido de endereço institucional e eletrônico; Resumo; Termos para indexação; Title, Abstract; Index terms; Introdução; Material e Métodos; Resultados e Discussão; Conclusões; Agradecimentos; Referências; tabelas e figuras.
4. Os padrões de texto e de referências bibliográficas devem ser apresentados de acordo com as orientações, para a apresentação de manuscritos, estabelecidas nas Diretrizes aos autores, as quais se encontram na página web da revista PAB.
5. Mensagens de concordância dos coautores com o conteúdo do manuscrito e sua submissão à revista devem ser compiladas pelo autor correspondente em um arquivo do Microsoft Word e carregadas no sistema como um documento suplementar, no quarto passo do processo de submissão.
6. Diante do grande número de trabalhos recebidos para publicação (média de 110 por mês), solicitamos sua concordância com os seguintes procedimentos adotados pela revista PAB:

Os trabalhos são analisados pela Comissão Editorial, antes de serem submetidos à assessoria científica. Nessa análise, consideram-se os seguintes aspectos, entre outros: escopo, apresentação do artigo segundo as normas da revista; formulação do objetivo de forma clara; clareza da redação; fundamentação teórica; atualização da revisão da literatura; coerência e precisão da metodologia; discussão dos fatos observados em relação aos descritos na literatura; resultados com contribuição significativa; qualidade das tabelas e figuras; e, finalmente, originalidade e consistência das conclusões.

Após a aplicação desses critérios, caso o número de trabalhos aprovados ultrapasse a capacidade de publicação mensal, é aplicado o critério da **relevância relativa**. Segundo esse critério, os trabalhos com contribuição mais significativa para o avanço do conhecimento científico são aprovados. Esse critério é aplicado apenas aos trabalhos que atendam aos requisitos de qualidade, mas que, por excederem a capacidade de publicação mensal da revista, não podem ser todos aprovados. Por esse mesmo motivo, informamos que não aceitamos pedido de reconsideração