

**CRESCIMENTO E EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA DE PLANTAS JOVENS DE
CASTANHEIRA-DA-AMAZÔNIA EM ÁREA DEGRADADA E SUBMETIDAS À ADUBAÇÃO**
GROWTH AND WATER USE EFFICIENCY OF YOUNG BRAZIL NUT PLANTS ON DEGRADED
AREA SUBJECTED TO FERTILIZATION

Marciel José Ferreira¹ José Francisco de Carvalho Gonçalves² João Baptista Silva Ferraz³

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi analisar as taxas de crescimento absoluto (TCA), as trocas gasosas foliares e o potencial hídrico foliar (Ψ_w) de plantas jovens de castanheira-da-Amazônia (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.), quando submetidas a tratamentos de adubação (química ou verde), comparados com tratamento sem adubação, para restauração de área degradada na Amazônia central. Os tratamentos aplicados foram: controle (sem adubação), adubação química (Ouromag[®]) e adubação verde (fragmentos de galhos e folhas). A TCA em diâmetro e altura, no tratamento com adubação verde, foi cerca de 12 vezes superior ao controle. O Ψ_w atingiu na antemanhã o valor máximo de -0,19 MPa e ao meio-dia o valor mínimo de -2,8 MPa, ambos no tratamento com adubação verde. A eficiência intrínseca no uso da água (EIUA) não exibiu diferenças entre os tratamentos. Ao contrário da eficiência no uso da água (EUA), que, nos tratamentos com adubação verde e química, foram observados aumentos de 66 e 38%, respectivamente, em relação ao controle. Portanto, conclui-se que os tratamentos de adubação, especialmente a adubação verde, devido a melhorias que proporciona no uso dos recursos primários, bem como a água, desempenham papel importante no crescimento de plantas de *Bertholletia excelsa* na fase jovem de plantios florestais sobre área degradada na Amazônia.

Palavras-chave: taxa de crescimento absoluto; potencial hídrico foliar; *Bertholletia excelsa*; espécie arbórea tropical.

ABSTRACT

This work objectives to analyze the absolute growth rate (AGR), leaf gas exchange and leaf water potential (Ψ_w) of young Brazil nut (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.) plants subjected to chemical and green fertilization treatments, compared with treatment without fertilization, aiming the restoration of a degraded area in central of Amazonia rain forest. The applied treatments were: control (without fertilization), chemical (Ouromag[®]) and green fertilization (fragments of branches and leaves). The diameter and height AGR in the treatment with green fertilization was about 12 times higher than the control. The Ψ_w reached maximum value of -0.19 MPa at noon, and minimum of -2.8 MPa at midday, both in green fertilization treatment. The intrinsic water-use efficiency (WIUE) did not differed significantly between the treatments, unlike the treatments with green and chemical fertilization increased the water-use efficiency (WUE) up to 66 and 38%, respectively, when compared to the control. Therefore, we concluded that the fertilization treatments, especially the green one, due to improvements in the use of which provides primary resources, e.g. water, play a key role in the growth of *Bertholletia excelsa* plants in the young phase of forest plantations on degraded area in Amazonia.

Keywords: absolute growth rate; leaf water potential; *Bertholletia excelsa*; tropical tree species.

1. Engenheiro Florestal, Doutorando do Programa de Pós-graduação em Ciências de Florestas Tropicais, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Av. André Araújo, 2936, CEP 69060-001, Manaus (AM). marciel@inpa.gov.br
2. Engenheiro Agrônomo, Dr., Pesquisador Titular do Instituto Nacional de Pesquisas a Amazônia, Av. André Araújo, 2936, CEP 69060-001, Manaus (AM). Bolsista do CNPq. jfc@inpa.gov.br
3. Biólogo, Dr., Pesquisador Titular do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Av. André Araújo, 2936, CEP 69060-001, Manaus (AM). jferraz@inpa.gov.br

Recebido para publicação em 08/07/2010 e aceito em 02/05/2011

INTRODUÇÃO

As taxas anuais médias de desflorestamento na Amazônia Brasileira atingiram, no período entre 2000 e 2009, cerca de 1,7 milhões de hectares (INPE, 2009). O acumulado desde a década de 70 soma mais de 60 milhões de hectares (VERWEIJ et al., 2009). Com a remoção da cobertura florestal, o solo se torna desprotegido e, conseqüentemente, exibe alterações nas suas propriedades físicas, químicas e biológicas (MCGRATH et al., 2001; HARTEMINK et al., 2008). Assim, a ausência de cobertura vegetal do solo, além de implicar menor acúmulo de matéria orgânica, favorece o aumento da temperatura, devido à exposição direta à energia luminosa, reduzindo a capacidade de retenção de água e, como resultado, diminui a disponibilidade hídrica para as plantas (ROSSI et al., 2007).

Nas plantas, a deficiência hídrica afeta o potencial hídrico foliar, o *status* nutricional e as trocas gasosas foliares, assim como, pode alterar outros mecanismos e processos fisiológicos relacionados ao crescimento vegetal (LIBERATO et al., 2006; GONÇALVES et al., 2009). Por outro lado, o suprimento adequado de nutrientes pode favorecer diferentes mecanismos de crescimento das plantas, como no caso do desempenho fotossintético, contribuindo efetivamente para o estabelecimento das plantas no campo (SILVA et al., 2006; FERREIRA et al., 2009).

Atolerância das plantas a condições limitadas de recursos primários (água, luz e nutrientes), assim como, o sucesso no estabelecimento inicial das mesmas sobre áreas degradadas são, em grande parte, determinados pela eficiência no uso destes recursos (FUNK e VITOUSEK, 2007). Diante disso, a melhoria nas condições edáficas pode favorecer as plantas em diversos aspectos, inclusive, no processo fotossintético, melhorando desempenhos de parâmetros fisiológicos ligados à tolerância das plantas com potencial para restauração florestal e, contribuindo para incorporar áreas degradadas aos processos produtivos. Neste sentido, indicadores fisiológicos como a eficiência no uso da água (EUA) e a eficiência intrínseca no uso da água (EIUA) podem contribuir sobremaneira para seleção de espécies mais apropriadas para finalidade de plantios florestais ou monitorar ambientes naturais (SANTOS JÚNIOR et al., 2006; SILVA et al., 2008). Conceitualmente, a EUA é uma razão entre a taxa de fotossíntese líquida (A) e a taxa de transpiração (E), ao passo que a EIUA refere-se à relação entre a

A e a condutância estomática (g). Estes parâmetros têm sido apontados como importantes medidas da capacidade das espécies de se estabelecerem sobre ambientes com limitação de recursos hídricos (NOGUEIRA et al., 2004; CERNUSAK et al., 2007).

Diante do cenário de desflorestamento na Amazônia e da necessidade de selecionar plantas e, em particular espécies arbóreas, que apresentem bom desempenho de crescimento em áreas degradadas, de modo que agreguem potencial produtivo as áreas a serem restauradas, investigou-se a espécie *Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl., pertencente à família das Lecythidaceae (MORI, 1992), que possui elevado valor econômico e apresenta boas características de produção em áreas de floresta nativa e altas taxas de crescimento, quando plantada sob sistemas agroflorestais ou povoamentos homogêneos (TONINI et al., 2008; COSTA et al., 2009).

O objetivo desta pesquisa foi analisar a relação entre o crescimento e o *status* hídrico foliar, assim como a eficiência no uso da água em plantas jovens de *Bertholletia excelsa* sob diferentes tratamentos de adubação e crescendo sobre área degradada na Amazônia central.

MATERIAL E MÉTODO

O experimento foi implantado no município de Manaus-AM (60° 01' 07" W e 03° 05' 08" S), sobre área degradada previamente desflorestada pela retirada da vegetação original formada por "Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme" (VELOSO et al., 1991). O clima da região é do tipo Amw, com temperatura e pluviosidade média anual de 26,7°C e 2.186 mm, respectivamente (KÖPPEN, 1948; FISCH, 1990).

O processo de degradação da área passou pela remoção de uma camada de solo até a profundidade de aproximadamente 3 m. A superfície foi então terraplanada e compactada para o início de construções militares. Posteriormente, com a não execução das obras, a área foi abandonada. A partir da demanda de restauração vegetal da área, 600 plantas jovens de *Bertholletia excelsa* com sete meses e altura média de 55 cm, provenientes da Fazenda Agropecuária Aruanã S/A Itacoatiara-AM, foram plantadas em covas de tamanho 30 x 40 cm, em espaçamento de 1 x 1 m, cobrindo área experimental de 600 m².

O plantio foi submetido a três diferentes

tratamentos: controle - não recebeu adubação; adubação química - adubação com 150 g/planta de adubo mineral (Ooumag® 4% N, 14% P, 7% K, 11,5% Ca, 2,7% Mg, 10,4% S, 0,07% B, 0,59% Zn e 0,15% Cu) e 50 g de calcário dolomítico, incorporados em um raio de 30 cm da planta e, adubação verde - adubação de cobertura com 9 kg m⁻² de material vegetal fresco (fragmentos de galhos e folhas provenientes da poda de plantas presentes na floresta adjacente ao experimento).

Como medidas alométricas das plantas, foram determinadas as taxas de crescimento absoluto (TCA) e área foliar específica (AFE). As TCA em diâmetro a altura do coleto (DAC) e em altura total foram determinadas ao longo do período de oito meses, após a aplicação dos tratamentos de adubação, conforme metodologia descrita por Bugbee (1996). A AFE foi determinada a partir da razão da área foliar pela massa foliar seca a 70°C até obtenção da massa constante, utilizando-se discos foliares de área conhecida, sendo analisados dez discos foliares por planta (EVANS e POORTER, 2001).

Os potenciais hídricos foliares na antemanhã (Ψ_{am}), ao meio-dia (Ψ_{md}) e ao entardecer (Ψ_{ent}) foram determinados entre 4 e 6 horas, 11 e 13 horas e entre 17 e 18 horas, respectivamente, usando bomba de pressão (PMS Instrument CO, Corvallis, Oregon, USA), conforme metodologia descrita por Silva et al. (2008).

As medidas de trocas gasosas foliares foram realizadas no período entre 9 e 12 horas. As taxas de fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs) e transpiração (E) foram determinadas por meio de um analisador de gás a infravermelho (IRGA) portátil, de sistema aberto, modelo LICOR 6400, conforme metodologia descrita por Santos Júnior et al. (2006). Os dados pontuais das variáveis mencionadas anteriormente foram obtidos à densidade de fluxo de fótons (PPFD) de 1500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, com a câmara foliar ajustada para concentração de CO₂, temperatura e vapor de H₂O em torno de 380±4 $\mu\text{mol mol}^{-1}$, 31±1°C e 21±1 mmol mol⁻¹, respectivamente. Assim como a AFE e os potenciais hídricos foliares, as medições de trocas gasosas foliares foram realizadas ao final do experimento.

A eficiência no uso da água (EUA) e a eficiência intrínseca no uso da água (EIUA) foram calculadas por meio das razões EUA ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$) = fotossíntese / transpiração e EIUA ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$) = fotossíntese / condutância

estomática, respectivamente.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC) com três tratamentos (controle, adubação química e adubação verde) e dez repetições (n=10), a exceção das medidas de crescimento onde foram utilizadas 20 repetições (n=20), considerando-se a repetição cada indivíduo amostrado, utilizando-se o princípio da aleatorização (sorteio) para todos os tratamentos. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($P<0,05$), utilizando-se o programa *Statistica* versão 6.1 para *Windows* (STATSOFT INC., 2004). Adicionalmente, análises de regressão linear também foram aplicadas aos dados de A, AFE e g_s.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de TCA em diâmetro e altura, considerando o período de oito meses de medições, variaram entre 0,2 e 2,4 mm mês⁻¹ e 0,84 e 10,2 cm mês⁻¹, respectivamente, sendo que o tratamento com adubação verde exibiu valores cerca de 12 vezes superiores em relação ao tratamento controle. Por outro lado, o tratamento com adubação química não diferiu do tratamento controle para as variáveis acima mencionadas (Figura 1). Indivíduos adultos de *Bertholletia excelsa* (10-12 anos) com alturas entre 16 e 21 m em sistemas agroflorestais exibiram altas taxas de incremento corrente anual (ICA) em diâmetro a altura do peito (DAP) entre 2,94 e 4,49 cm e para altura entre 1,52 e 1,96 m (COSTA et al., 2009; FERREIRA e TONINI, 2009). Obviamente que a finalidade de apresentar os dados acima mencionados não é comparar os incrementos da *Bertholletia excelsa* na fase jovem, considerando o diâmetro medido à altura do coleto da planta sob tratamento com adubação com os valores obtidos nos trabalhos citados, que também fizeram medidas alométricas. Entretanto, ressalta-se que as castanheiras, na fase juvenil, quando receberam o tratamento com adubação verde, verificou-se contribuição significativa nos seus padrões de crescimento, evidenciando resposta positiva desta espécie às melhorias nas características físico-químicas do solo resultante do material vegetal aplicado em cobertura.

Para os valores médios da AFE a variação foi da ordem de 78,0 e 91,0 cm² g⁻¹, sendo que os tratamentos controle e adubação química exibiram valores significativos de 16 e 15% mais

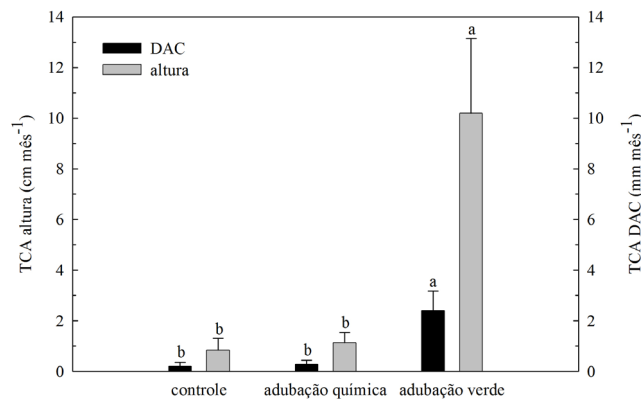


FIGURA 1: Taxas de crescimento absoluto (TCA) em diâmetro do coleto (DAC) e em altura total das plantas de *Bertholletia excelsa* sob diferentes tratamentos de adubação (n = 20). Os valores são médias e as linhas verticais indicam os desvios padrão. Médias seguidas da mesma letra entre os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

FIGURE 1: Absolute growth rates in diameter at collar height and in total height of *Bertholletia excelsa* plants subjected to different fertilization treatments (n = 20). Values are means and vertical lines indicate the standard deviations. Mean values followed by the same letter between the treatments did not differ by the Tukey test ($P < 0.05$).

elevados, respectivamente, quando comparados com o tratamento de adubação verde (Figura 2). Geralmente, o aumento em área de superfície da folha representa estratégia adotada pelas plantas a fim de maximizar a interceptação da luz solar e a fixação de CO_2 , que é especialmente importante em plantas sob condição de baixa disponibilidade de luz, água e nutrientes (SANTOS JÚNIOR et al., 2006; CAI et al., 2008). Por sua vez, a menor área em relação à massa foliar em condições de alta luminosidade é resultado do maior investimento na formação de tecido paliçádico mais espesso, com reflexo no aumento do número de cloroplastos e na quantidade de enzimas fotossintetizantes, melhorando a capacidade fotossintética por unidade de área foliar. Plantas com menores valores de AFE podem apresentar o dobro da quantidade de rubisco (ribulose 1,5 bisfosfato carboxilase-oxigenase) por unidade de área foliar se comparadas às plantas com maiores valores deste parâmetro (EVANS e POORTER, 2001).

Neste trabalho, em se tratando de uma área aberta onde ocorre incidência direta da luz solar, os menores valores de AFE exibidos pelas plantas jovens de castanheira do tratamento com adubação verde podem refletir maior eficiência destas com relação ao processo de assimilação de carbono. Confirmando esta hipótese, a relação entre os valores de A e AFE foi significativa e negativa ($r = -0,73$, $r^2 = 0,54$, $P < 0,0001$) (Figura 3). Nesta mesma linha de raciocínio, estudo com diversas

espécies tropicais de diferentes hábitos de crescimento também mostrou haver relação inversa entre os valores de A, expressos em área foliar, e as medidas de AFE (SANTIAGO e WRIGHT, 2007).

No que diz respeito ao *status* hídrico, os valores médios do potencial hídrico foliar na antemanhã (Ψ_{am}) variaram entre -0,19 e -0,34 MPa, refletindo adequado estado de turgescência celular das folhas nesse período do dia (Figura 4). O Ψ_{am} é geralmente considerado o melhor parâmetro para indicar a condição hídrica da planta, podendo refletir o potencial de água na região da rizosfera, uma vez que ambos (planta e rizosfera) permanecem em equilíbrio durante a noite (DAVIS e MOONEY, 1986). No entanto, alguns autores não recomendam o uso isolado do Ψ_{am} para inferir sobre o *status* hídrico da planta, os quais sugerem impossibilidade de se detectar estresse hídrico anteriormente ao surgimento aparente de mudanças morfológicas na planta (SATO et al., 2006). Diante disso, paralelamente ao Ψ_{am} , os menores valores médios de potencial hídrico registrados ao meio-dia (Ψ_{md}) (entre -2,4 e -2,8 MPa) e ao entardecer (Ψ_{ent}) (entre -1,2 e -1,7 MPa) refletem a maior demanda atmosférica de vapor d'água nesses períodos do dia, quando comparados ao período antemanhã. Portanto, do ponto de vista de manutenção do *status* hídrico das plantas, *Bertholletia excelsa* exibiu comportamento semelhante entre os três tratamentos. Entretanto, o menor Ψ_{md} (-2,8 MPa) observado nas plantas do tratamento com adubação

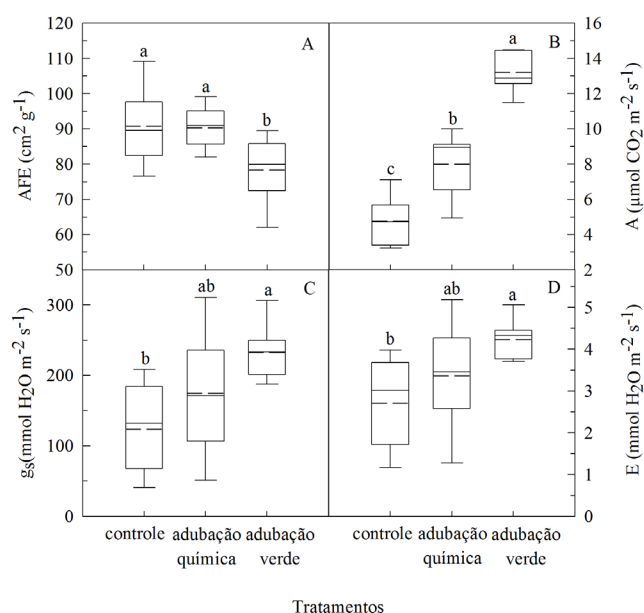


FIGURA 2: Área foliar específica e trocas gasosas foliares em plantas de *Bertholletia excelsa* em área de solo degradado, submetidas a diferentes adubações. AFE = área foliar específica (A); A = fotossíntese líquida (B); g_s = condutância estomática (C); E = transpiração (D) (n = 10). Área do box-plot = 50% dos dados, barras superiores e inferiores = 25% de variação dos dados, linha contínua no interior do box-plot = mediana, linha tracejada = média. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

FIGURE 2: Specific leaf area and leaf gas exchange in *Bertholletia excelsa* plants in degraded soil subjected to different fertilization. Specific leaf area (A); net photosynthesis (B); stomatal conductance (C); transpiration (D) (n = 10). Box-plot area = 50% of the data, upper and lower bars = 25% of data variation, continuous line inside the box = median, dashed line = mean. Mean values followed by the same letter did not differ by the Tukey test ($P < 0.05$).

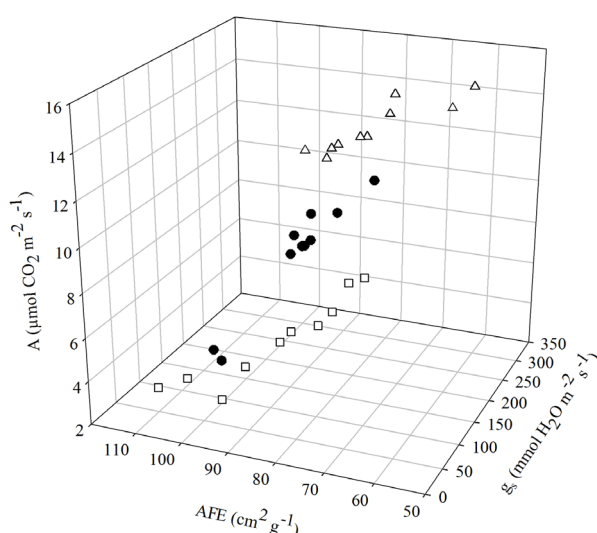


FIGURA 3: Relação entre a taxa de assimilação de CO_2 (A), área foliar específica (AFE) e condutância estomática (g_s) para os indivíduos de *Bertholletia excelsa* em área degradada, submetidos a diferentes tipos de adubação (quadrados – controle; círculos – adubação química e triângulos – adubação verde) (n = 30).

FIGURE 3: Relation between CO_2 assimilation rate, specific leaf area and stomatal conductance in *Bertholletia excelsa* plants in degraded area subjected to different fertilization. (squares - control; circles - chemical fertilization and triangles - green fertilization) (n = 30).

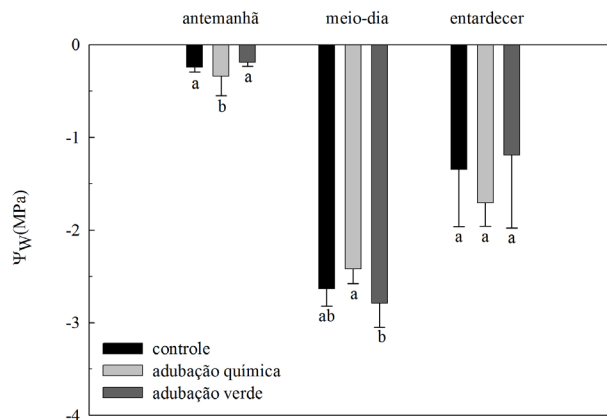


FIGURA 4: Potenciais hídricos foliares na antemanhã (5h00), ao meio-dia (12h00) e ao entardecer (17h00) em plantas de *Bertholletia excelsa* em área de solo degradado sob tratamentos de adubação (n = 10). Os valores são médias e as linhas verticais indicam os desvios padrão. Médias seguidas da mesma letra, no mesmo período, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

FIGURE 4: Leaf water potentials in predawn (05:00 h), at midday (12:00 h) and at dusk (17:00 h) in *Bertholletia excelsa* plants in degraded soil subjected to different fertilization treatments (n = 10). Values are means and vertical lines indicate the standard deviations. Mean values followed by the same letter, in the same period, did not differ by the Tukey test ($P < 0.05$).

verde pode ser resultado de condição microclimática mais favorável às raízes dessas plantas, caracterizada por temperaturas mais amenas e maior umidade na camada superficial do solo, em função da cobertura pelo material vegetal. O fato é que o *status* hídrico das plantas influencia diretamente a sua capacidade em assimilar carbono, ambos regulados pela taxa de condutância estomática e, sob condições de déficit hídrico, as plantas normalmente reduzem a taxa fotossintética pela maior resistência estomática criada para reduzir a perda de água pelo processo transpiratório (YOKOTA et al., 2006; FERREIRA et al., 2009). Neste sentido, tais condições mais adequadas ao crescimento das raízes das plantas jovens de castanheira sob adubação verde podem ter permitido a manutenção de taxas mais elevadas de condutância estomática, fotossíntese e transpiração nas plantas desse tratamento e, conseqüentemente, menor Ψ_{md} , considerando ainda a dificuldade de reposição de água em tempo real, mesmo havendo, em teoria, água no solo sob este tratamento. Adicionalmente, é importante ressaltar a mais rápida recuperação (57%) no *status* hídrico das plantas sob o tratamento de adubação verde refletida pelos valores do Ψ_{ent} (-1,2 MPa) em relação ao Ψ_{md} (-2,8 MPa). Em geral, plantas quando submetidas ao déficit hídrico desenvolvem mecanismos que permitem sua adaptação a esta condição. O mecanismo de abertura e fechamento dos estômatos constitui a

principal estratégia utilizada para evitar a perda de água (POU et al., 2008). No entanto, há declínio na assimilação de carbono devido ao menor ingresso do CO_2 nas câmaras subestomáticas. Diante deste desequilíbrio nas trocas gasosas foliares, estudos que discriminem indicadores fisiológicos capazes de selecionar plantas mais eficientes em manter a assimilação de carbono com menor perda de água podem, efetivamente, serem usados em programas de restauração e manejo florestal.

Quanto a EUA, a aplicação dos tratamentos de adubação, especialmente, o tratamento com adubação verde, resultou aumentos consideráveis nas taxas fotossintéticas, os quais compensaram as maiores taxas de transpiração e, determinaram o incremento da EUA. Estes valores foram 66 e 38% mais elevados nos tratamentos adubação verde e química, respectivamente, quando comparados ao tratamento controle (Figura 5). Entretanto, os tratamentos de adubação não exibiram diferenças quanto à EIUa quando comparados ao tratamento controle. Maiores valores de A são, normalmente, acompanhados de elevadas taxas de E e g_s para diversas espécies na região tropical (NOGUEIRA et al., 2004; SANTIAGO e WRIGHT, 2007). A relação significativa e positiva entre as variáveis A e g_s encontrada neste estudo, corrobora com esta afirmativa ($r=0,74$, $r^2=0,55$, $P < 0,0001$) (Figura 3).

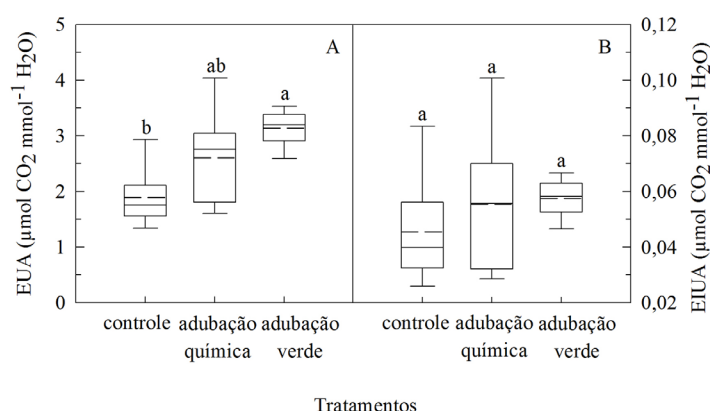


FIGURA 5: Eficiência no uso da água (EUA) (A) e eficiência intrínseca no uso da água (EIUA) (B) em plantas de *Bertholletia excelsa* em área de solo degradado, submetidas a diferentes adubações (n = 10). Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

FIGURE 5: Water-use efficiency (A) and intrinsic water-use efficiency (B) in *Bertholletia excelsa* plants in degraded soil subjected to different fertilization (n = 10). Mean values followed by the same letter did not differ by the Tukey test ($P < 0,05$).

Assim, a manutenção de elevadas taxas fotossintéticas associadas a menores valores de g_s e E são características de plantas tolerantes a menor disponibilidade de água no solo, que é refletido pela maior EIUA e EUA (MA et al., 2004). Em ambientes com limitada disponibilidade de recursos (em particular, água e nutrientes), condições comumente encontradas em áreas degradadas, a magnitude positiva desses parâmetros de eficiência torna-se essencial para o bom funcionamento das plantas e se prestam como indicadores para monitorar o pleno estabelecimento das plantas no campo, assim como para demonstrar a plasticidade fisiológica das espécies em relação aos fatores abióticos (SANTOS JÚNIOR et al., 2006; FUNK e VITOUSEK, 2007; LI et al., 2008; SILVA et al., 2008).

CONCLUSÕES

Os efeitos benéficos nas taxas de crescimento proporcionados pelo tratamento com adubação verde são efetivos em plantas jovens de *Bertholletia excelsa*.

O tratamento com adubação verde permite maior plasticidade da variável Ψ_w foliar em plantas jovens de *Bertholletia excelsa* sob plantio em área de solo degradado, demonstrado a partir dos extremos de Ψ_w observados nas medições ao meio-dia e no período da antemanhã.

No tratamento de adubação verde, a maior EUA foi determinada pela maior fixação de carbono e não pelo controle da transpiração.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por meio do projeto 553316/2005-2, pelo financiamento e ao 1º Batalhão de Infantaria de Selva - Aéromóvel (1º BIS-Amv / CMA) (Manaus, AM) pela área de estudo e apoio na implantação do experimento e à Empresa Agropecuária Aruanã S/A (Itacoatiara, AM) pela doação das mudas de *Bertholletia excelsa*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BUGBEE, B. G. Growth, analyses and yield components. In: SALISBURY, F. B. (Ed.). **Units, Symbols and Terminology for plant physiology**. Oxford University Press, 1996. p.115-119.
- CAI, Z. Q. et al. Effects of light and nutrients on seedlings of tropical *Bauhinia* lianas and trees. **Tree Physiology**, Oxford, v. 28, n. 8, p. 1277–1285, Aug. 2008.
- CERNUSAK, L. A. et al. Large variation in whole-plant water-use efficiency among tropical tree species. **New Phytologist**, Malden, v. 173, n. 2, p. 294-305, Jan. 2007.
- COSTA, J. R. et al. Aspectos silviculturais da castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*) em sistemas agroflorestais na Amazônia Central. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 39, n. 4, p. 843-850, out./dez. 2009.

- DAVIS, S. D.; MOONEY, H. A. Water use patterns of four co-occurring chaparral shrubs. **Oecologia**, Berlin, v. 70, n. 2, p. 172-177, Sept. 1986.
- EVANS, J. R.; POOTER, H. Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: the relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain. **Plant, Cell & Environment**, Oxford, v. 24, n. 8, p. 755-767, Aug. 2001.
- FERREIRA, L. M. M.; TONINI, H. Comportamento da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) e da cupiúba (*Goupia glabra*) em sistema agrosilvicultural na região da Confiança, Cantá – Roraima. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 39, n. 4, p. 835-842, out./dez. 2009.
- FERREIRA, M. J. et al. Photosynthetic parameters of young Brazil nut (*Bertholletia excelsa* H. B.) plants subjected to fertilization in a degraded area in Central Amazonia. **Photosynthetica**, Praha, v. 47, n. 4, p. 616-620, Dec. 2009.
- FISCH, G. Climatic aspect of the Amazonian tropical forest. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 20, n. 1, p. 39-48, jan./dez. 1990.
- FUNK, J. L.; VITOUSEK, P. M. Resource-use efficiency and plant invasion in low-resource systems. **Nature**, London, v. 446, n. 7139, p.1079-1081, Apr. 2007.
- GONÇALVES, J. F. C. et al. Características fotossintéticas 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, jan. 2009.
- HARTEMINK, A. E. et al. Land cover change and soil fertility decline in tropical regions. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, Ankara, v. 32, n. 3, p.195-213, 2008.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <(http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes_1988_2009.htm)> Acesso em: 24 de novembro de 2009.
- KÖPPEN, W. **Climatologia**: con un estudio de los climas de la tierra. México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 479 p.
- LI, F. et al. Growth, biomass partitioning, and water-use efficiency of a leguminous shrub (*Bauhinia faberi* var. *microphylla*) in response to various water availabilities. **New Forests**, Dordrecht, v. 36, n. 1, p. 53-65, July 2008.
- LIBERATO, M. A. R. et al. Leaf water potential, gas exchange and chlorophyll *a* fluorescence in acariquara seedlings (*Minuartia guianensis* Aubl.) under water stress and recovery. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 18, n. 2, p. 315-323, Apr./Jun. 2006.
- MA, C. C. et al. Photosynthesis, transpiration and water use efficiency of *Caragana microphylla*, *C. intermedia* and *C. korshinskii*. **Photosynthetica**, Praha, v. 42, n. 1, p. 65-70, Mar. 2004.
- MCGRATH, D. A. et al. Effects of land-use change on soil nutrient dynamics in Amazonia. **Ecosystems**, New York, v. 4, n. 7, p. 625-645, Nov. 2001.
- MORI, S. A. The Brazil nut industry - past, present, and future. In: PLOTKIN, M.; FAMOLARE, L. (Eds.). **Sustainable Harvest and Marketing of Rain Forest Products**. Washington: Island Press, 1992. p. 241-251.
- NOGUEIRA, A. et al. Photosynthesis and water use efficiency in twenty tropical tree species of differing succession status in a Brazilian reforestation. **Photosynthetica**, Praha, v. 42, n. 3, p. 351-356, Sept. 2004.
- POU, A.; FLEXAS, J. Adjustments of water use efficiency by stomatal regulation during drought and recovery in the drought-adapted *Vitis* hybrid Richter-110 (*V. berlandieri* × *V. rupestris*). **Physiologia Plantarum**, Malden, v. 134, n. 2, p. 313-323, Oct. 2008.
- ROSSI, A. et al. Diferentes manejos da cobertura vegetal de aveia preta em pomar no sul do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 3, p. 457-463, 2007.
- SANTIAGO, L. S.; WRIGHT, S. J. Leaf functional traits of tropical forest plants in relation to growth form. **Functional Ecology**, Malden, v. 21, n. 1, p. 19-27, Feb. 2007.
- SANTOS JÚNIOR, U. M. et al. Growth, leaf nutrient concentration and photosynthetic nutrient use efficiency in tropical tree species planted in degraded areas in Central Amazonia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 226, n. 1-3, p. 299-309, May 2006.
- SATO, T. et al. The validity of predawn leaf water potential as an irrigation-timing indicator for field-grown wheat in northern Syria. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 82, n. 1-2, p. 223-236, Apr. 2006.
- SILVA, C. E. M. et al. Eficiência no uso dos nutrientes por espécies pioneiras crescidas em pastagens degradadas na Amazônia Central. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 36, n. 4, p. 503-512, out./dez. 2006.
- SILVA, C. E. M. et al. Water-use efficiency of tree species following calcium and phosphorus application on an abandoned pasture, central Amazonia, Brazil. **Environmental and**

Experimental Botany, Oxford, v. 64, n. 2, p. 189-195, Nov. 2008.

TONINI, H. et al. Relação da produção de sementes de castanha-do-Brasil com características morfométricas da copa e índices de competição.

Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 43, n. 11, p. 1509-1516, nov. 2008.

VELOSO, H. P. et al. **Classificação da vegetação**

brasileira adaptada a um sistema universal. Rio de Janeiro: IBGE, 1991. 123 p.

VERWEIJ, P. et al. **Keeping the Amazon forests standing: a matter of values**. WWF, 2009. 68 p.

YOKOTA, A. et al. Water stress. In: MADHAVA RAO, K. V. et al. (Eds.). **Physiology and molecular**

Biology of Stress Tolerance in Plants. Berlin: Springer-Verlag, 2006. p. 15-39.