

Crescimento e sobrevivência de castanheira (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) em diferentes condições ambientais na região do rio Trombetas, Oriximiná, Pará

Growth and survival of Brazil nuts (*Bertholletia excelsa* Bonpl.), in different environmental conditions in region River Trombetas, Oriximiná, Pará, Brazil

Ricardo Scoles^I, Rogério Gribel^{II}, Gilmar Nicolau Klein^{III}

^IUniversidade Federal do Oeste do Pará. Santarém, Pará, Brasil

^{II}Instituto de Pesquisa Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil

^{III}Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Oriximiná, Pará, Brasil

Resumo: Este estudo analisa o crescimento e a sobrevivência da castanheira (*Bertholletia excelsa*, Lecythidaceae) em diferentes condições ambientais a partir de plantios experimentais na região do rio Trombetas. Foram plantadas 144 mudas num delineamento experimental com quatro repetições e três tratamentos ambientais de exposição à luz: roçados de mandioca (100% de abertura de dossel), capoeiras jovens (20-80%) e sub-bosque de castanhais (< 10%). Durante dois anos, a cada dois meses, mediram-se a altura e o diâmetro do colo de todas as plantas e anotaram-se as incidências de mortalidade e rebrota. Diferenças significativas no desempenho das mudas de castanheira foram observadas entre os três tratamentos, especialmente favorável ao de maior luminosidade. As mudas de roçado cresceram em altura 13 vezes mais do que as de capoeira e quase 30 vezes mais que as do castanhal. O crescimento em diâmetro das plantas no roçado foi 4,4 vezes maior do que na capoeira e 7,7 vezes maior do que no castanhal. Independente das condições luminosas, a castanheira mostrou alto índice de sobrevivência e capacidade de rebrota. Conclui-se que a castanheira se desenvolve melhor em condições de plena luminosidade, como áreas de roçado ou grandes clareiras florestais. Nas experiências de enriquecimento ou reflorestamento, deve-se limpar periodicamente ao redor das mudas, evitando sombreamentos da parte aérea, garantindo, assim, altas taxas de crescimento para as mesmas.

Palavras-chave: *Bertholletia excelsa*. Castanheira. Sobrevivência. Crescimento de árvores. Plantios de enriquecimento. Abertura de dossel.

Abstract: This study examines the growth and survival of Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*, Lecythidaceae) in different environmental conditions within experimental plantations in the Trombetas River valley. One hundred and forty four saplings were planted in a random block design, with three natural light treatments: manioc field (100% canopy removal), young secondary forest (20-80% canopy cover) and the understory of a Brazil nut plantation (< 10% canopy opening). Every two months for a period of two years plant height and stem diameter were measured, and mortality and regrowth were noted. There were significant differences in the performance of Brazil nut saplings between treatments, with the most marked differences being at the highest level of luminosity (manioc field). The open field saplings grew in height 13 times more than those planted in secondary forest, and nearly 30 times more those in the understory of the plantation area. The open field saplings exhibited a growth in diameter 4.4 times greater than saplings planted in secondary forest and 7.7 times greater than saplings planted in the understory. Regardless of the light treatment, the Brazil nut saplings had high survival rate and exhibited strong regrowth following stem damage. Overall we report that Brazil nut saplings perform better in full daylight conditions such as abandoned crop fields and forest gap. In enrichment or reforestation plantings, vegetation around Brazil nut plants should be cleaned frequently to avoid over-shading the crown and to guarantee high growth rates.

Keywords: *Bertholletia excelsa*. Brazil nut. Survival. Crown tree. Enrichments plantings. Canopy gap.

SCOLES, R., R. GRIBEL & G. N. KLEIN, 2011. Crescimento e sobrevivência de castanheira (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) em diferentes condições ambientais na região do rio Trombetas, Oriximiná, Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais** 6(3): 273-293.

Autor para correspondência: Ricardo Scoles. Universidade Federal do Oeste do Pará. Centro de Formação Interdisciplinar. Rua Marechal Rondon, s/n. Caranazal. Santarém, PA, Brasil. CEP 68040-070 (ricardscoles@yahoo.es).

Recebido em 11/03/2010

Aprovado em 29/11/2011

Responsabilidade editorial: Toby Gardner



INTRODUÇÃO

A castanheira (*Bertholletia excelsa* Bonpl.), da família Lecythidaceae, é uma árvore nativa da Amazônia, que se distribui por toda a região de forma desigual, sendo abundante em algumas áreas e ausente em outras. As sementes comestíveis da castanheira são de grande importância econômica para as comunidades locais por serem uma das principais fontes de renda, especialmente durante o período chuvoso do ano (Clay, 1997; Ortiz, 2002). A produção da castanha é obtida quase exclusivamente de atividade extrativa florestal, sendo as plantações pouco significativas em termos quantitativos (Zuidema, 2003). De fato, trata-se da única semente comercializada internacionalmente cuja coleta é feita com exclusividade em áreas florestais naturais (Clay, 1997).

A castanha é um dos produtos não madeireiros mais importantes da economia florestal da Amazônia. Em termos comerciais, a maior parte das sementes é vendida para o mercado nacional e internacional, poucas são comercializadas em nível local ou regional (Mori & Prance, 1990; Clay, 1997; Clement, 1999, IBGE, 2010). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), a castanha é o segundo produto florestal não madeireiro em termos de importância comercial na região Norte do Brasil, perdendo somente para o fruto de açaí (*Euterpe* spp.). Desde finais da década de 1990, a Bolívia superou o Brasil como o maior produtor mundial de castanha (Bojanic, 2001; Stoian, 2004; FAO, 2011). Atualmente, em valor econômico, esta semente é o principal produto florestal exportado pela Bolívia (IBCE, 2010).

A castanheira ocorre em florestas de terra firme, onde pode formar aglomerações (castanhais) com densidades entre 15-20 indivíduos por hectare (Mori & Prance, 1990). A região do rio Trombetas, na Amazônia setentrional, é conhecida por abrigar importantes áreas de castanhais, territórios frequentados desde tempos pretéritos por comunidades tradicionais, ribeirinhos, indígenas e quilombolas, com a finalidade de coletar a castanha durante a estação chuvosa (Acevedo & Castro, 1998; IBAMA, 2004).

Bertholletia excelsa é uma espécie emergente de grande porte. Seu caráter longo e dominante não é incompatível com seu comportamento heliófito durante as primeiras etapas da vida (Salomão, 1991), dependendo de clareiras para o crescimento vertical das plântulas germinadas (Mori & Prance, 1990; Myers *et al.*, 2000). A castanheira pode ser considerada como uma espécie clímax exigente de luz (Swaine & Whitmore, 1988). Estudos experimentais de curta duração e em condições diversas de intensidade de luz sugerem que as plântulas de *B. excelsa* têm melhor crescimento quando as condições luminosas são intermédias, entre 25-50% de abertura de dossel, entretanto, os aumentos de biomassa são proporcionais à disponibilidade de luz (Zuidema *et al.*, 1999; Hayashida-Oliver *et al.*, 2001). No norte da Bolívia, um estudo experimental com dois anos de duração, em condições de abertura de dossel variando entre 16 e 55%, comprovou que o desempenho das plântulas de castanheira melhorava com o aumento do tamanho da clareira (Peña-Claros *et al.*, 2002).

A castanheira é uma árvore com altas taxas de sobrevivência, exceto nas etapas iniciais da vida, quando ainda tem endosperma, reserva da semente que também é recurso alimentar para cutias (*Dasyprocta* spp.) e outros mamíferos terrestres. A predação do endosperma, parte integrante do caule, causa a morte da plântula, especialmente quando a reserva não está lignificada (Oliveira, 2000; Ortiz, 2002; Zuidema, 2003). Segundo estudo de dinâmica populacional na Bolívia, a probabilidade de sobrevivência das plântulas de *B. excelsa* é relativamente alta, inclusive para os tamanhos menores (altura < 35 cm), com pelo menos 50% de sobreviventes por ano. A partir de 70 cm de altura, as plântulas passam a ter um índice de sobrevivência próximo a 100% (Zuidema & Boot, 2002).

A distribuição desigual de *B. excelsa* nas diferentes regiões da Amazônia, as limitações produtivas decorrentes de produtos extraídos da floresta pouco ou nada manejados (Homma, 1993; Anderson, 1994; Clement, 2006) e as dificuldades de acesso a alguns castanhais produtivo incentivam a necessidade de enriquecer áreas

próximas às comunidades humanas com castanheiras. Nestas áreas predominam habitats antropizados, derivados de práticas tradicionais de agricultura itinerante (*shifting cultivation*), como roçados em pouso e capoeiras em diferentes estágios de sucessão secundária.

Algumas capoeiras são novamente derrubadas para abertura de roçados, mas outras são definitivamente abandonadas e podem ser usadas para plantios de castanheiras. Vários estudos experimentais de enriquecimento já foram desenvolvidos no oeste da Amazônia brasileira (estado do Acre) e norte da Bolívia (Departamento de Beni) em diferentes condições de abertura de dossel, com resultados positivos quanto ao crescimento de *B. excelsa* em grandes clareiras (Oliveira, 2000; Peña-Claros *et al.*, 2002) e em áreas humanizadas e abertas (Kainer *et al.*, 1998). De igual forma, vários estudos mostram que, em ambientes florestais manejados ou transformados pela ação humana, as taxas de regeneração da castanheira são maiores (Pereira, 1994; Cotta *et al.*, 2008; Paiva *et al.*, 2011; Scoles & Gribel, 2011, 2012).

A proliferação de áreas degradadas na região amazônica por causas antrópicas recomenda medidas compensatórias de recuperação da cobertura vegetal. O uso de árvores nativas para plantios de regeneração florestal, onde *B. excelsa*, pela sua idiosincrasia ecológica e importância socioeconômica, pode ocupar papel protagonista (Salomão *et al.*, 2006; Tonini *et al.*, 2008). Existem alguns exemplos documentados de plantações experimentais de castanheira bem sucedidas, seja em consórcio com outras frutíferas (Vieira *et al.*, 1998; Bentes-Gama *et al.*, 2005), seja em monocultura (Fernandes & Alencar, 1993; Tonini *et al.*, 2008; Souza *et al.*, 2008).

A finalidade deste trabalho é mostrar as diferenças de desempenho de mudas de castanheira localizadas na Floresta Nacional (FLONA) de Saracá-Taquera, na bacia do rio Trombetas, com diferentes tratamentos naturais de luz, após dois anos de monitoramento. Esta pesquisa se diferencia de outros estudos de acompanhamento do crescimento de castanheiras jovens pela representatividade

dos três tratamentos ambientais comparados: roçado abandonado, capoeira jovem e castanhal, principais locais onde ocorre regeneração da espécie. Além disso, as plantações experimentais de *B. excelsa* foram situadas em áreas não controladas pela equipe de pesquisadores, o que permitiu observar o comportamento das mudas numa situação muito próxima àquela que acontece naturalmente.

MATERIAL E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

As plantações experimentais de castanheira estudadas situam-se nas proximidades da comunidade de Tapagem, na parte inferior da bacia do rio Trombetas, município de Oriximiná, oeste do estado do Pará. O rio Trombetas é afluente setentrional do rio Amazonas, com cerca de 760 km de extensão (IBAMA, 2004). Em seu setor mais setentrional, a bacia hidrológica do rio Trombetas alberga grandes áreas de floresta tropical úmida delimitadas por áreas indígenas, áreas de titulação coletiva (quilombola) e unidades de conservação federal e estadual. A área de estudo situa-se no interior de áreas ocupadas por quilombolas, região de uso comunitário da localidade de Tapagem, no interior da FLONA de Saracá-Taquera (Figura 1) e faz parte do entorno da Reserva Biológica do rio Trombetas, unidade de conservação de uso indireto, na qual *B. excelsa* é uma das espécies arbóreas mais abundantes (IBAMA, 2004).

O clima da região é equatorial e úmido, com temperatura média de 26 °C e precipitação média anual que varia entre 2.000 e 2.500 mm. A umidade relativa do ar normalmente é superior a 80%. Evidencia-se uma sazonalidade pluviométrica, com picos de chuva nos meses de março, abril e maio, e períodos de estiagem de agosto a novembro, quando a precipitação é menor que 100 mm por mês (SUDAM, 1984; IBAMA, 2004). Os solos da região são de natureza ácida e quimicamente pobres em nutrientes, classificados predominantemente como Podzólico Vermelho-Amarelo Álico e Latossolo Vermelho-

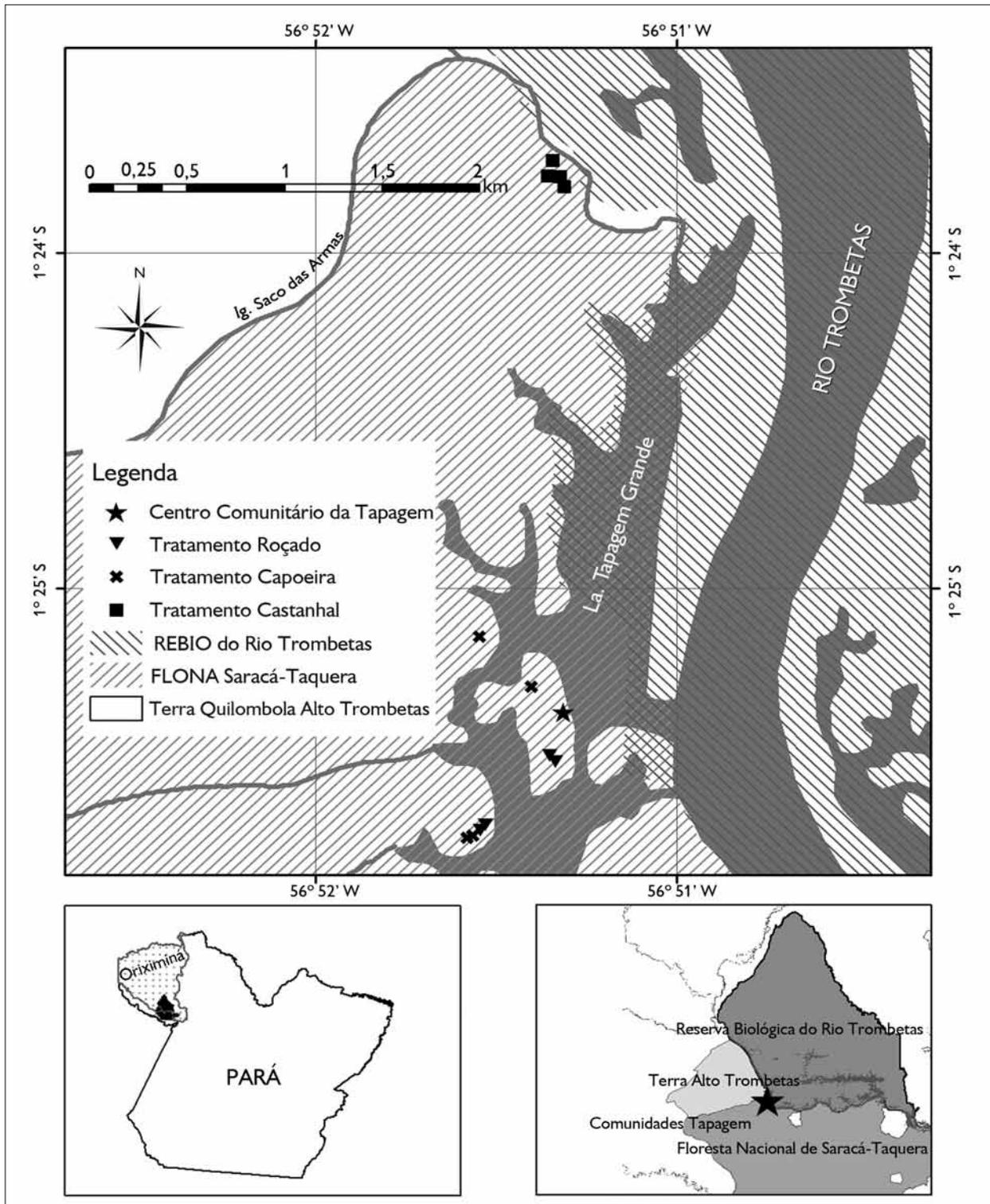


Figura 1. Localização das plantações experimentais de mudas de *B. excelsa* na FLONA de Saracá-Taquera.



Amarelo Álco (Venturieri *et al.*, 2001). O relevo é suave e a altitude é baixa (< 50 m).

Desenho experimental

Em março de 2007 foram plantadas 144 mudas de castanheira provenientes do projeto Banco de Germoplasma de Castanheira, coordenado pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) e com produção de mudas no viveiro da Mineração Rio Norte (MRN), Porto Trombetas, Oriximiná (PA). A plantação contou com a participação direta do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) de Porto Trombetas e autorização de pesquisa emitida pelo Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade (SISBIO) n°. 15.234, além da autorização expressa da Coordenação da Comunidade Quilombola de Tapagem.

As mudas de castanheira foram dispostas num delineamento experimental de ANOVA com três tratamentos e quatro repetições. Para cada parcela ou repetição, desenhou-se uma grade de 20 x 30 m, onde foram plantadas 12 mudas de *B. excelsa* em espaçamentos de 10 x 10 m. Ao todo, em cada tratamento, foram colocados 48 indivíduos. As mudas foram transplantadas em sacos de plásticos, com 25 a 30 cm de altura e 10 a 12 cm de diâmetro. As covas da plantação tinham 35-40 cm de profundidade e 20 cm de diâmetro. No momento da retirada do plástico durante a plantação, as raízes enroladas não foram podadas. O estresse provocado pelo transplante das mudas do viveiro até as áreas experimentais foi compensado com incorporação inicial de adubo orgânico (100 gramas) na cova de plantação. Ao longo dos dois anos de monitoramento, essa foi a única alteração artificial promovida, além do corte de lianas enroladas no caule e galhos das mudas e eliminação física de ervas invasoras da área basal das mudas.

A procedência geográfica das sementes para produção das mudas é diversificada, segundo mostra a Tabela 1. As diferentes variedades foram distribuídas nos três tratamentos de forma paritária. Selecionaram-se mudas com alturas entre

80-120 cm. O início da plantação das mudas coincidiu com o período mais chuvoso do ano (março), quando o balanço hídrico é favorável para as plantas.

A idade das mudas plantadas em março de 2007, calculadas a partir da data de repicagem, variou de 11 a 40 meses de idade. A proporção de indivíduos plantados por idade foi: 0-11 meses (n = 10, 7%), 12-23 meses (n = 43, 30,1%), 24-35 meses (n = 84, 58,7%) e 36-40 meses (n = 6, 4,2%). A altura média das mudas plantadas em março de 2007 era de mais de 1 metro (média: 107,6 ± 15,8 cm) e o diâmetro médio da base do colo era de quase 8 mm (média 7,9 ± 2,1 mm).

As mudas selecionadas foram plantadas em três tratamentos ambientais, que tanto representam lugares onde a regeneração de castanheira pode ocorrer em condições naturais, como potenciais situações de enriquecimento florestal com *B. excelsa* na área de estudo. Os três tratamentos diferem entre si principalmente pelo grau de abertura de dossel ou exposição à luz das mudas: a) áreas de lavoura de mandioca (*Manihot esculenta*), com praticamente 100% de entrada de luz, b) áreas de capoeira baixa (entre 2-5 anos de pouso), com abertura do dossel variável entre 20 e 80%, c) sub-bosque de áreas florestais dominadas por indivíduos adultos de *B. excelsa* (> 10 árvores ha⁻¹), com alto sombreamento (< 10% de entrada de luz).

A entrada de luz que alcança as mudas foi medida de forma indireta por meio de imagens fotográficas do dossel florestal (Engelbrecht & Herz, 2001) e usando a metodologia de contagens de pixels não obscurecidos sobre o total numa escala de grises de 0 a 256. Para este método, foi usada uma câmera digital Ricoh GX100 com uma lente grande angular (19 mm). As fotos foram feitas a uma altura de 1,30 m da base da planta, com auxílio do tripé, à primeira hora do dia e com a câmera focando verticalmente para o céu ou dossel florestal. As imagens digitais foram processadas com o programa Miramón 6.0, calculando-se, para cada fotograma, a proporção de áreas não obscurecidas pela vegetação, posteriormente transformadas em graus de arco-seno para análise estatística (Zar, 1999).

Tabela 1. Procedência geográfica das sementes para produção das mudas e quantidades de indivíduos de *B. excelsa* plantados nas áreas experimentais do rio Trombetas.

Nome do castanhal	Município	Estado	Número de mudas
Açaizal	Laranjal de Jarí	Amapá	12
Ademar Gomes	Costa Marques	Rondônia	12
Fartura	Oriximiná	Pará	20
Moura	Oriximiná	Pará	20
Mutuca	Costa Marques	Rondônia	10
Pão de açúcar	Costa Marques	Rondônia	11
Purão	Laranjal de Jarí	Amapá	18
Tauarí	Oriximiná	Pará	21
Veado	Oriximiná	Pará	19
Total			143

Os três tratamentos escolhidos diferenciam-se pela intensidade luminosa que as mudas recebem. Nas parcelas de roçado, elas foram plantadas em área limpa, com percentagem de luz incidente de praticamente 100%. Para manter essa situação, foi preciso realizar atividades periódicas de manutenção e limpeza ao redor das mudas a cada dois meses, com objetivo de evitar sombreamentos na parte apical da planta.

As áreas selecionadas para as quatro repetições dos tratamentos de roçado e capoeira encontram-se muito próximas às residências da localidade de Tapagem. As quatro parcelas de alto sombreamento localizam-se na margem direita do igarapé Saco das Armas, dentro do castanhal que recebe o mesmo nome do curso de água, a cerca de 3 km de distância do centro comunitário de Tapagem (Figura 1).

Depois do plantio, em março de 2007, realizaram-se doze visitas bimestrais nas áreas experimentais até março de 2009, com objetivo de coletar dados métricos e informações relacionadas com episódios de alteração visível da planta, tais como secagem, cortes, rebrota ou morte. As medições periódicas incluíam mensuração de altura em centímetros e diâmetro do colo em milímetros. O instrumental usado foi fita métrica, varas padronizadas e paquímetro.

ANÁLISES DE SOLO

Coletaram-se doze amostras compostas de solo provenientes da camada de 0-40 cm de profundidade, aproveitando o material removido para a escavação das covas para a plantação das mudas. A distribuição das amostras seguiu o delineamento experimental dos plantios, quatro repetições (parcelas) por três tratamentos. Realizaram-se análises físicas (textura do solo) e químicas do solo (pH, carbono, nutrientes) no Laboratório Temático de Plantas e Solos do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), sediado em Manaus (AM). Antes das análises, as amostras foram secadas, destorroadas e passadas em peneira fina de 2 mm de diâmetro. As partículas primárias foram divididas em três grupos, conforme a sua granulometria (areia [2,00-0,05 mm], silte [0,05-0,002 mm] e argila [$< 0,002$ mm]), para o posterior cálculo das proporções granulométricas, seguindo a metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA, 1997).

As variáveis químicas analisadas foram: pH em água, carbono, nutrientes (nitrogênio, cálcio, potássio, fósforo, magnésio, ferro, manganês, zinco) e alumínio trocável. A metodologia usada seguiu os princípios e determinações recomendados pela EMBRAPA (1999). As concentrações dos elementos químicos foram expressas em mg kg^{-1} , à

exceção do alumínio, calculado em centímol de carga por quilo ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$). A partir dos teores de cátions, foram calculadas, com as devidas transformações, a capacidade de troca de cátions efetiva (CTC_e), a porcentagem de saturação por alumínio ($m \%$) e a porcentagem de saturação por bases ($V \%$). A matéria orgânica foi expressa em percentuais e calculada mediante o método de Walkley-Black, a partir da concentração de carbono no solo (EMBRAPA, 1997).

ANÁLISES DE DADOS

O índice de sobrevivência das mudas foi calculado por meio do percentual entre número de sobreviventes em relação ao número total de mudas plantadas. A comparação da sobrevivência por tratamentos foi testada com Qui-Quadrado (χ^2). A capacidade de rebrota das mudas foi medida pela razão entre frequências de rebrota e somatório de número de mortes e rebrota detectados.

Para analisar e comparar o desempenho das mudas ao longo dos dois anos de monitoramento, calculou-se três indicadores diferentes: 1) Incremento Corrente Médio em altura (ICM_h) ou em diâmetro do colo (ICM_d), ambos calculados a partir da diferença média entre a primeira (março de 2007) e última medição realizada (março de 2009), 2) Incremento Médio Anual (IMA) e Incremento Corrente Anual (ICA), ambos calculados a partir da diferença entre duas medições com intervalo de um ano entre elas, 3) Incremento Corrente Bimestral (ICB), calculado a partir da diferença entre duas medições com intervalo de dois meses entre elas.

Por meio de análises de comparação de médias, testou-se, de forma diferenciada nos três tratamentos, a influência da procedência das sementes das mudas, a idade inicial das mudas e a influência do tempo (diferença entre as duas ICAs) no desempenho das mudas plantadas. A correlação entre luz incidente e incremento corrente em altura e/ou diâmetro do colo foi analisada através de um modelo de regressão não linear (exponencial) para todas as mudas plantadas. O desempenho das mudas plantadas (ICM_h e ICM_d) e as propriedades físico-químicas do solo

foram comparados entre os três tratamentos ambientais também por meio de análise de comparação de médias.

As análises estatísticas de comparação de médias utilizadas foram de dupla natureza: 1) paramétricas (ANOVA ou teste 't') para distribuições normais das variáveis, 2) não paramétricas (teste de Kruskal-Wallis ou teste de Mann-Whitney), quando as distribuições não apresentavam normalidade amostral. Dentro dos grupos, o uso de um ou outro teste dependeu do número de variáveis comparadas (dois ou três). Para analisar a normalidade das distribuições, usou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov (Zar, 1999).

RESULTADOS

FATORES AMBIENTAIS: ANÁLISE DA LUZ INCIDENTE

A partir das análises das imagens digitalizadas do dossel das mudas, evidenciou-se que as áreas de capoeira tiveram grande variação do padrão de luminosidade, tanto dentro como entre as parcelas (Tabela 2). Analisando o total das 48 mudas de capoeira de forma conjunta, a porcentagem média de luz entrante foi de 52,46%, com mínimo de 6,58% e máximo de 99,60%. Considerando as variações das médias entre repetições, o gradiente da abertura de dossel variou

Tabela 2. Proporção da abertura do dossel por tratamentos e repetições.

Tratamento e tipo de parcela	Média de abertura de dossel (%)	Varição da % média
Roçados 1-4	100	-
Capoeira 1	62,02	19,96
Capoeira 2	41,30	24,37
Capoeira 3	65,14	18,37
Capoeira 4	41,38	24,77
Castanhal 1	6,50	0,81
Castanhal 2	7,18	0,99
Castanhal 3	7,47	1,39
Castanhal 4	6,85	1,29

de 16,61% a 83,51%. As parcelas de castanhal confirmaram-se como as áreas de alto sombreamento, com uma percentagem média de abertura de dossel para o total das mudas de 7,01%, com valor mínimo de 3,85% e máximo de 10,89%. Nesse caso, o intervalo das variações das médias entre repetições foi pequeno, de 5,82% a 8,86%.

FATORES AMBIENTAIS: SOLO

O tratamento de roçado teve os valores proporcionais mais altos de areia (> 50%) e os mais baixos em silte e argila. Os solos dos castanhais foram os mais argilosos (> 40%). Entretanto, as diferenças granulométricas entre tratamentos não foram significativas (Tabela 3).

As análises químicas não mostraram diferenças significativas entre os tratamentos para a maioria de variáveis estudadas (pH, matéria orgânica, CTC, nutrientes). As únicas exceções foram o cálcio e o manganês extraídos, que apresentaram concentrações muito baixas nas parcelas de castanhal em relação às áreas de capoeira e roçado. Ainda assim, as comparações múltiplas por pares somente confirmaram diferenças significativas entre os tratamentos de capoeira e castanhal para o teor de manganês (Tabela 4).

Em termos de toxicidade por alumínio, a percentagem média de saturação de alumínio nos solos de castanhal foi de 77%, mais elevada do que a dos solos de roçado (47%) e capoeira (41%). Ainda assim, as diferenças não foram significantes por pequena margem ($p = 0,058$). De igual forma, os solos de capoeira tiveram a mais alta percentagem de saturação por bases (59%), seguidos pelos de roçado (53%) e de castanhal (23%).

DESEMPENHO DAS MUDAS

Das 144 mudas plantadas, onze (7,6%) morreram no transcurso dos dois anos de monitoramento. Destas, sete morreram por causas naturais. Das 133 sobreviventes, 28 (21,1%) sofreram alterações fisiológicas (secagem) e/ou morfológicas (corte do caule) que desaceleraram os processos de crescimento vertical e provocaram regeneração secundária por rebrote. Do total de mudas plantadas, 105 (72,9%) não tiveram alterações visíveis significativas na estrutura aérea da planta e foram usadas para as análises comparativas de crescimento do presente estudo (Tabela 5)

Sobrevivência

Considerando somente as mortes naturais, o índice de sobrevivência das mudas variou de 89 a 100%, dependendo do tratamento. Nas parcelas de roçado não houveram mortes naturais, ocorrendo duas mortes nas de capoeira e cinco nas de castanhal. Ainda assim, as diferenças entre os três tratamentos não foram significativas (Teste $\chi^2_{5,99} = 5,70$, $p = 0,056$).

Conforme a Figura 2, os episódios de mortes naturais se concentraram quase todos no segundo ano da plantação (85%), principalmente durante o segundo semestre do ano de 2008. As parcelas de castanhal foram responsáveis por 71% das mortes totais das mudas, 60% das quais aconteceram entre setembro e novembro de 2008. Tendo em conta a procedência geográfica, as mudas originárias do castanhal de Pão de Açúcar, município de Costa Marques, Rondônia, foram as únicas que tiveram um índice de sobrevivência

Tabela 3. Comparação das propriedades texturais dos solos (valores médios de percentual granulométrico de partículas \pm variação), por tratamento, nos plantios experimentais de Trombetas. Uso de teste Kruskal-Wallis (K-W), nível de significância ($\alpha = 0,05$). Para silte ($p \leq 0,05$), foram feitas comparações múltiplas por pares mediante procedimento de Dunn, sem mostrar diferenças significativas entre tratamentos, com nível de significância corrigido de Bonferroni de 0,0167.

Partículas	Roçado	Capoeira	Castanhal	Teste K-W
Argila	28,50 \pm 11,97	33,00 \pm 4,02	42,00 \pm 10,61	$p = 0,064$
Silte	14,77 \pm 3,80	27,81 \pm 6,66	25,21 \pm 9,41	$p = 0,050$
Areia	56,72 \pm 12,75	39,19 \pm 7,02	32,79 \pm 6,10	$p = 0,199$

Tabela 4. Comparação das propriedades químicas dos solos (valores médios \pm desvio padrão das variáveis) por tratamento nos plantios experimentais de Trombetas. Uso do teste de Kruskal-Wallis (K-W), nível de significância ($\alpha = 0,05$), quando ($p \leq 0,05$) foram feitas comparações múltiplas por pares mediante procedimento de Dunn. As letras diferentes (a, b) em sobrescrito mostram diferenças significativas entre tratamentos, com nível de significância corrigido de Bonferroni de 0,0167.

Propriedades químicas	Roçado	Capoeira	Castanhal	Teste K-W (p)
pH em H ₂ O	3,94 \pm 0,38	4,08 \pm 0,32	3,93 \pm 0,08	0,664
Carbono mg kg ⁻¹	11,74 \pm 3,72	10,60 \pm 2,49	13,91 \pm 2,33	0,174
Nitrogênio mg kg ⁻¹	0,93 \pm 0,21	0,90 \pm 0,21	1,24 \pm 0,22	0,138
C/N	12,42 \pm 1,38	11,80 \pm 0,62	11,24 \pm 1,16	0,298
Matéria orgânica (%)	2,02 \pm 0,64	1,83 \pm 0,43	2,40 \pm 0,40	0,196
Fósforo mg kg ⁻¹	14,60 \pm 6,98	29,22 \pm 46,45	12,42 \pm 2,15	0,551
Cálcio mg kg ⁻¹	134,38 \pm 91,29 ^a	133,00 \pm 61,11 ^a	27,38 \pm 10,56 ^b	0,025
Magnésio mg kg ⁻¹	29,88 \pm 24,83	23,63 \pm 6,17	19,88 \pm 3,68	0,694
Potássio mg kg ⁻¹	33,13 \pm 20,41	27,00 \pm 6,92	34,25 \pm 2,40	0,232
Alumínio cmol _c kg ⁻¹	0,92 \pm 0,58	0,68 \pm 0,34	1,32 \pm 0,32	0,138
CTC _t efetiva cmol _c kg ⁻¹	1,93 \pm 0,97	1,61 \pm 0,19	1,71 \pm 0,38	0,94
Saturação Bases (V %)	53,17 \pm 21,92	58,69 \pm 19,66	22,95 \pm 3,52	0,058
Saturação Alumínio (m %)	46,83 \pm 21,92	41,31 \pm 19,66	77,05 \pm 3,52	0,058
Ferro mg kg ⁻¹	147,75 \pm 21,72	117,00 \pm 42,15	159,00 \pm 39,27	0,491
Manganês mg kg ⁻¹	10,15 \pm 6,99 ^a	15,08 \pm 7,04 ^a	1,55 \pm 0,39 ^b	0,018
Zinco mg kg ⁻¹	0,63 \pm 0,30	0,73 \pm 0,56	0,93 \pm 0,34	0,569

(72,7%) significativamente menor do esperado (Teste $\chi^2_{3,84} = 2,33$, $p = 0,0005$). Ressalta-se que as variedades procedentes da região do rio Trombetas tiveram sobrevivência de 100%.

Rebrota

Ao longo de dois anos, foram identificados 28 casos de rebrota (19,4%) em todos os plantios. As frequências de rebrota variaram com o tratamento, sendo

Tabela 5. Número de mudas de *B. excelsa* por tratamento e incidências. Plantios experimentais de Trombetas.

Tratamento	Normais	Rebrotas	Mortas	Total
Roçado	39	5	4	48
Capoeira	35	11	2	48
Castanhal	31	12	5	48
Total	105	28	11	144

menores no roçado (10,4% das mudas) e maiores na capoeira (22,91%) e no castanhal (25%). Apesar disso, as diferenças não foram significativas entre as situações ambientais (Teste Kruskal-Wallis, $p = 0,24$). As causas das alterações fisiológicas e morfológicas que desencadearam as rebrotas foram majoritariamente naturais ($n = 20$, 71,4%). Não obstante, nos tratamentos de roçado e capoeira, houve episódios onde a ação humana prejudicou as mudas, principalmente por corte ou queima da planta de forma involuntária durante as atividades de lavoura.

Em Trombetas, a capacidade de rebrota chegou a 71,79%, dos casos, ou seja, das 39 mudas que sofreram alterações morfológicas ou fisiológicas, 28 sobreviveram e conseguiram revigorar-se em termos de crescimento vertical (Tabela 5). Por tratamento, a capoeira foi a que teve a maior capacidade de rebrote (84,6%), superior a do castanhal (70,6%) e do roçado (55,5%). No entanto, as diferenças entre eles não foram significativas (Teste Kruskal-Wallis: $p = 0,73$).

As plantas que sofreram episódios de rebrote após alterações morfológicas e/ou fisiológicas (19,4% sobre o total) tiveram um desempenho diferente em relação às mudas normais. Em primeiro lugar, as mudas rebrotadas cresceram, em termos relativos, mais rapidamente que seus vizinhos do mesmo tratamento após o fenômeno de rebrote, apresentando os seguintes incrementos correntes bimestrais (ICB_h) médios: roçado ($n = 5$, $ICB_h = 14,0 \pm 12,0$ cm mês⁻¹), capoeira ($n = 11$, $ICB_h = 4,1 \pm 4,0$ cm mês⁻¹) e castanhal ($n = 12$, $ICB_h = 8,9 \pm 10,6$ cm mês⁻¹). Observou-se, neste grupo específico de mudas, que o

crescimento bimestral foi mais alto no castanhal que na capoeira. Ainda assim, as diferenças entre tratamentos não foram significativas (ANOVA, $F_{3,38} = 2,24$, $p = 0,1266$). Em contraste, conforme mostra a Figura 3, comparando a ICB_h após rebrote com as mudas normais por tratamentos, as médias são significativamente díspares na capoeira (teste 't', $p = 0,0168$) e castanhal (teste 't', $p = 0,0170$), mas não no roçado (teste 't', $p = 0,37$).

Em termos absolutos, as únicas mudas com rebrota que alcançaram ICM_h positivos em dois anos de plantio foram as de roçado ($n = 5$, $ICM_h = 58,2 \pm 57,2$ cm, máximo = 131 cm e mínimo = -25 cm). As outras rebrotas sofreram diminuição na altura como consequência dos traumas acontecidos: capoeira ($n = 11$, $ICM_h = -24,1 \pm 57,0$ cm, máximo = 45 cm, mínimo = -96 cm) e castanhal ($n = 12$, $ICM_h = -37,4 \pm 36,3$ cm, máximo = 11 cm, mínimo = -85 cm).

Crescimento

As análises comparativas do crescimento em altura e diâmetro das mudas de *B. excelsa* realizaram-se com as plantas que não morreram nem sofreram rebrota ao longo dos dois anos de monitoramento ($n = 105$, 72,9%). As diferenças em altura e diâmetro das mudas no começo e no final do período do estudo foram calculadas e posteriormente verificada sua distribuição normal com o teste Kolmogorov-Smirnov para crescimento em altura ($D = 0,089$, $p = 0,902$, $\alpha = 0,05$) e crescimento em diâmetro ($D = 0,091$, $p = 0,888$, $\alpha = 0,05$).

Os resultados do crescimento em altura são díspares e dependentes da situação ambiental onde as mudas foram plantadas (Figura 4A). No tratamento de roçado, o aumento médio em altura (ICM_h) foi de $204,4 \pm 115,4$ cm em dois anos, máximo de 463 cm e mínimo de 7 cm. Nos outros dois tratamentos, o ICM_h foi consistentemente menor: capoeira ($ICM_h = 15,5 \pm 18,2$ cm, máximo = 89 cm, mínimo = 0 cm) e castanhal ($ICM_h = 6,8 \pm 5,5$ cm, máximo = 21 cm, mínimo = 0 cm). As diferenças entre os três tratamentos foram altamente significativas (ANOVA, $F_{3,08}$

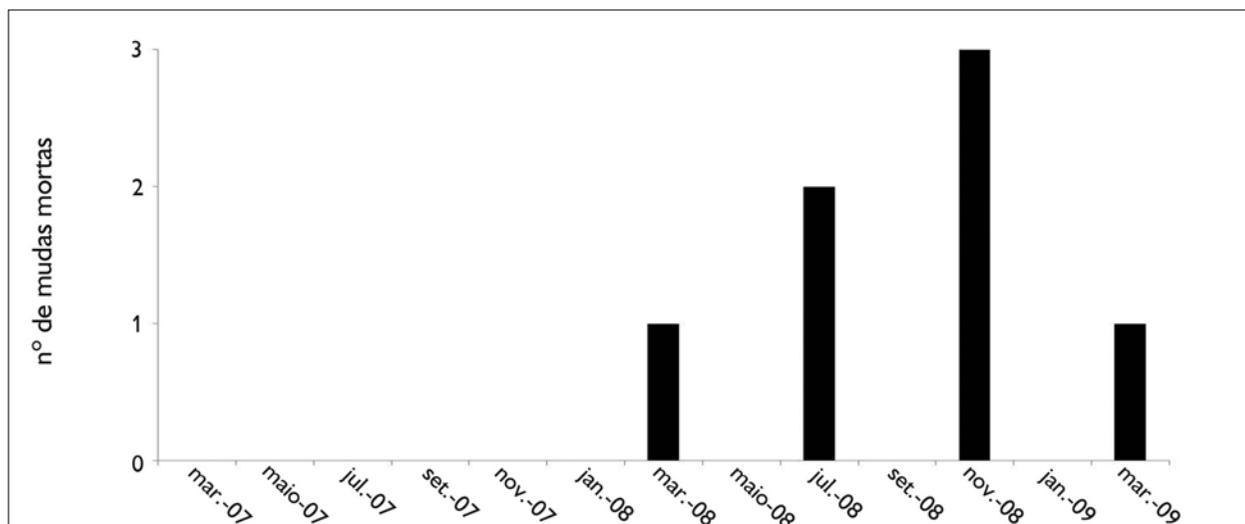


Figura 2. Sequência de episódios de morte das mudas de *B. excelsa* nos plantios experimentais de Trombetas.

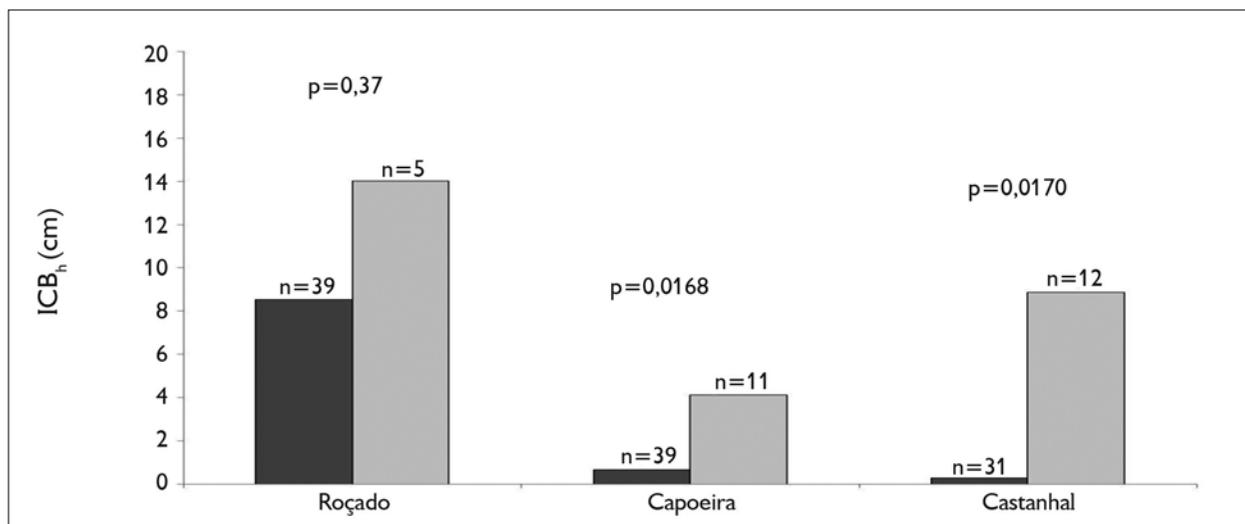


Figura 3. Comparação gráfica das médias dos incrementos correntes bimestrais em altura (ICB_h) entre mudas normais (barras escuras) e rebrotadas (barras claras) de *B. excelsa* nos três tratamentos dos plantios experimentais de Trombetas.

= 89,92, $p < 0,0001$). Nas comparações das médias por duplas, mediante o teste Tukey, as diferenças entre as três situações ambientais foram confirmadas para as mudas plantadas em áreas de roçado, não confirmando diferenças significativas de crescimento das plantas entre as parcelas de capoeira e castanhal.

Ressalta-se que 41,7% das mudas de roçado ($n = 20$) tiveram um alto desempenho em altura, com $IMA_h >$

1 m, chegando a alcançar valores superiores aos 2 m em três plantas. Comparando este grupo de alto rendimento ('top 20'), com o conjunto de mudas normais em roçado, as diferenças de ICM_h são altamente significativas (teste 't', $p = 0,0002$).

De igual forma, o incremento ocorrente em diâmetro do colo variou com o tratamento (Figura 4B). Novamente, as parcelas de roçado apresentaram o maior

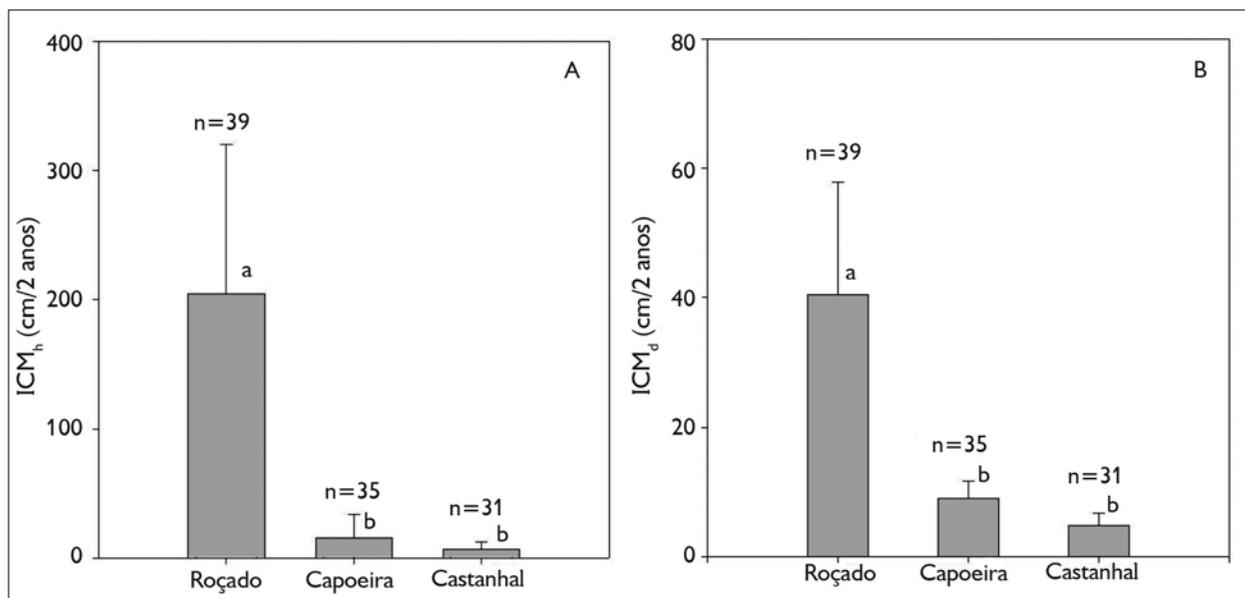


Figura 4. Diferenças de desempenho (ICM_h e ICM_d) das mudas de *B. excelsa* por tratamentos durante dois anos nos plantios experimentais de Trombetas: A) Incremento Corrente Médio em altura (ICM_h) e B) Incremento Corrente Médio em diâmetro do colo (ICM_d).

crescimento ($ICM_d = 40,8 \pm 14,4$ mm, máximo = 73 mm, mínimo = 8 mm), bem acima do aumento observado nas parcelas de capoeira ($ICM_d = 9,1 \pm 2,7$ mm, máximo = 15 mm, mínimo = 3,5 mm) e castanhal ($ICM_d = 4,9 \pm 1,8$ mm, máximo = 8 mm, mínimo = 0 mm). As diferenças entre os três tratamentos foram altamente significativas (ANOVA, $F_{3,06} = 120,43$, $p < 0,0001$). Comparando as médias por duplas, com o teste de Tukey, as diferenças unicamente deixaram de ser significativas entre as áreas de capoeira e castanhal ($\alpha = 0,05$).

Efeito da Luz

A análise de regressão não linear mostrou que o crescimento vertical das mudas está correlacionado positivamente com a exposição à luz incidente (Figura 5), ainda que a correlação seja fraca devido ao baixo coeficiente de determinação ($r = 0,739$, $R^2 = 0,35$, $p < 0,0001$). Por outro lado, a regressão não linear entre entrada de luz e crescimento em diâmetro (Figura 6) mostrou uma correlação significativa mais forte e positiva ($r = 0,872$, $R^2 = 0,60$, $p < 0,0001$).

Efeito da procedência das mudas

A escolha de mudas de oito procedências distintas não afetou os resultados gerais obtidos. Assim, comparando os crescimentos em altura dos três tratamentos segundo a proveniência das variedades de *B. excelsa* utilizadas, mantiveram-se as diferenças significativas entre o roçado e os outros dois tratamentos para a maioria das plantas (84%): Açazal ($n = 11$, $F_{4,25} = 7,18$, $p = 0,163$), Fatura ($n = 18$, $F_{3,73} = 11,65$, $p = 0,0010$), Moura ($n = 14$, $F_{3,98} = 27,53$, $p < 0,0001$), Purão ($n = 12$, $F_{4,25} = 14,84$, $p = 0,0014$), Tauarí ($n = 17$, $F_{3,74} = 14,42$, $p = 0,0004$) e Veado ($n = 16$, $F_{3,80} = 116,63$, $p < 0,0001$). No restante das mudas (16%), originárias de Ademar Gomes, Mutuca e Pão de Açúcar, os testes estatísticos não foram aplicados por falta de amostragem suficiente em alguns dos três tratamentos.

Analisadas as diferenças entre as variedades por tratamentos, constata-se que estas nunca foram significativas (ANOVA, $F_{2,44} = 0,99$, $p = 0,45$). No roçado, as variedades que tiveram melhor desempenho em altura, com $IMA_h > 1$ m, procediam de castanhais da região do

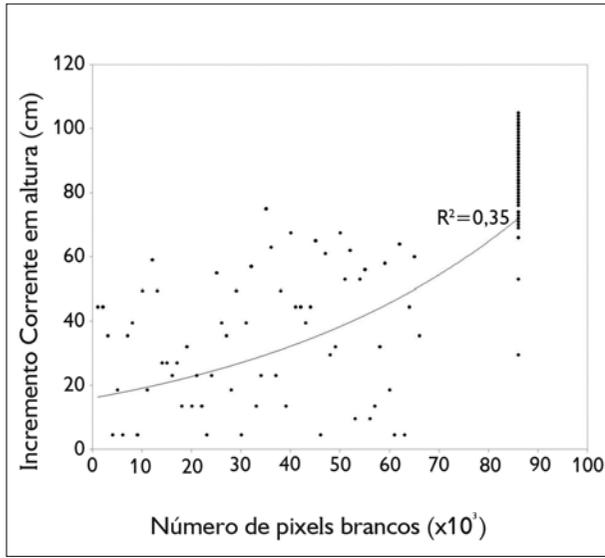


Figura 5. Regressão não linear (exponencial) entre entrada de luz (número de pixels não obscurecidos) e Incremento Corrente Médio em altura (ICM_h) para todas as mudas de *B. excelsa* plantadas nas áreas experimentais de Trombetas.

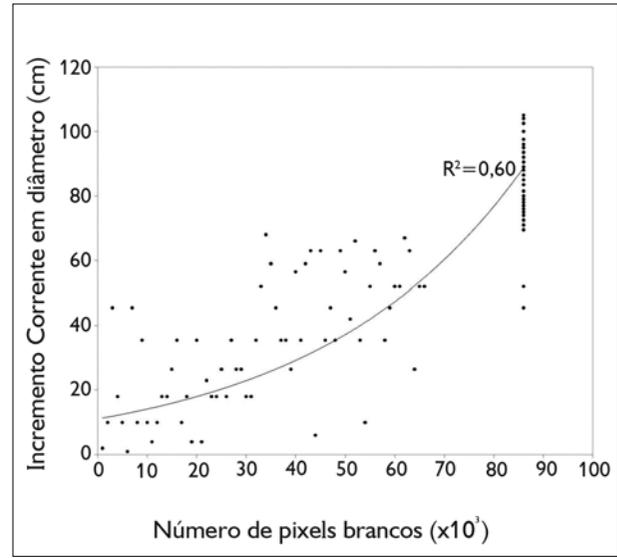


Figura 6. Regressão não linear (exponencial) entre entrada de luz (número de pixels não obscurecidos) e Incremento Corrente Médio em diâmetro do colo (ICM_d) para todas as mudas de *B. excelsa* plantadas nas áreas experimentais de Trombetas.

próprio rio Trombetas: Veado ($n = 5$, $ICM_h = 311,2 \pm 56,7$ cm), Fartura ($n = 6$, $ICM_h = 247,7 \pm 160,4$ cm) e Tauarí ($n = 6$, $ICM_h = 213,7 \pm 116,8$ cm). Ainda assim, as diferenças entre as variedades não foram significantes. Igualmente, no crescimento em diâmetro, evidenciam-se diferenças altamente significativas entre o roçado e os outros dois tratamentos para as seguintes procedências: Açaizal ($n = 11$, $F_{4,46} = 6,70$, $p = 0,195$), Fartura ($n = 18$, $F_{3,68} = 22,52$, $p < 0,0001$), Moura ($n = 14$, $F_{3,98} = 49,40$, $p < 0,0001$), Purão ($n = 16$, $F_{34,26} = 13,21$, $p = 0,0021$), Tauarí ($n = 17$, $F_{3,74} = 28,51$, $p < 0,0001$), Veado ($n = 16$, $F_{3,80} = 83,35$, $p < 0,0001$).

Efeito da idade das mudas

O desenvolvimento em altura dos plantios não foi influenciado pela idade inicial das mudas. Fazendo regressões entre o crescimento em altura e idade para cada um dos tratamentos, os resultados não foram significativos nas três condições ambientais estudadas (roçado, $p = 0,27$; capoeira, $p = 0,76$; castanhal, $p = 0,88$). Da mesma forma, o crescimento em diâmetro do colo tampouco

foi afetado pela idade inicial da muda (roçado, $p = 0,25$; capoeira, $p = 0,43$; castanhal, $p = 0,38$).

Influência do tempo

O desempenho das mudas teve um comportamento diferenciado entre o primeiro ano (março de 2007 – março de 2008) e o segundo ano (março de 2008 – março de 2009) da plantação, e sua relevância e magnitude variou com o tratamento (Figura 7A). Usando o teste 't' para amostras dependentes e pareadas, observou-se diferença significativa entre os dois períodos no tratamento de roçado ($p < 0,0001$) e capoeira ($p = 0,015$). Em contraste, no castanhal, as diferenças não foram estatisticamente confirmadas ($p = 0,178$). Para os três tratamentos, o IMA_h foi maior no segundo ano. Na capoeira, o aumento foi superior a 500%, com IMA_h aumentando de 1,9 cm para 11,4 cm; no roçado, foi de 184%, com IMA_h aumentando de 53,2 para 151,3 cm, e, no castanhal, foi de 50% (2,8 para 4,3 cm).

O crescimento em diâmetro também variou de um ano para outro, aumentando ou diminuindo segundo o

tratamento (Figura 7B). Nas áreas de roçado se manteve a tendência observada no IMA_h , o IMA_d foi maior no segundo ano (35% a mais). Em contraste, nos outros dois tratamentos, o IMA_d concentrou-se praticamente todo no primeiro ano da plantação. Analisando os dados com o teste 't' de amostras dependentes e pareadas, as diferenças de crescimentos entre os dois anos de plantação são altamente significativas ($p < 0,0001$) nas três situações.

Incrementos correntes bimestrais

Assim como ocorreu com o ICM_h , a ICB_h variou com o tratamento. As parcelas de roçado tiveram uma média de $17,6 \pm 10,3$ cm, com máximo de 37,5 cm e mínimo de 4,5 cm de ICB_h . Em contraposição, as mudas plantadas na capoeira e castanhal tiveram ICB_h menor, com uma média de $1,5 \pm 1,2$ cm e $0,8 \pm 0,7$ cm respectivamente (Figura 8A).

O comportamento do ICB_d foi muito similar ao ICB_h . O tratamento de roçado teve uma média de $3,4 \pm 1,8$ mm, com máximo de 7 mm e mínimo de 1 mm de ICB_d . Em contraposição, as mudas plantadas na capoeira e castanhal tiveram ICB_d inferior, com uma média de $0,8 \pm 1,5$ cm e $0,4 \pm 1,0$ cm respectivamente (Figura 8A). No roçado, observou-se uma tendência ao aumento médio do ICB_d , especialmente a partir do segundo ano da plantação, com uma única queda no intervalo entre novembro de 2008 e janeiro de 2009. O comportamento da ICB_d nos tratamentos de capoeira e castanhal é mais constante, sem grandes ascensões e com uma pronunciada queda no terceiro mês da plantação (Figura 8B).

A época chuvosa foi mais favorável ao crescimento em altura das mudas no tratamento com maior (roçado) e pior desempenho (castanhal), não se cumprindo este fenômeno nas áreas de capoeira, onde os incrementos de crescimento foram um pouco maiores nos meses de julho e novembro de 2008 (estiagem). Em relação ao diâmetro, o desempenho das mudas foi melhor durante o segundo semestre de 2008, correspondente ao período menos chuvoso do ano, para os tratamentos de roçado e capoeira, não se observando tendências relevantes nas parcelas de castanhal.

DISCUSSÃO

SOBREVIVÊNCIA E CAPACIDADE DE REBROTA

A taxa de sobrevivência das mudas de castanheira nos plantios de Trombetas em dois anos de monitoramento foi muito alta, entre 89 e 100%, dependendo do tratamento. As diferenças entre as três situações ambientais não foram significativas, ainda que tenha sido observada uma tendência a maiores taxas de mortalidade em áreas florestais e durante o período menos chuvoso do ano.

Comparado com outros experimentos similares, as mudas plantadas de *B. excelsa* neste estudo tiveram as taxas de mortalidade mais baixas. Por exemplo, no estado do Acre, em plantios agrícolas experimentais, o índice de sobrevivência ficou em torno de 40% após dois anos (Kainer *et al.*, 1998). Entretanto, nas áreas de enriquecimento em florestas com exploração madeireira, a mortalidade concentrou-se no primeiro ano, com uma taxa de 82,7% (Oliveira, 2000). Na Bolívia, após quatro anos, a taxa de sobrevivência de mudas variou entre 59 e 94%, dependendo do tratamento (Peña-Claros *et al.*, 2002). Os menores índices de sobrevivência desses experimentos, em relação às plantações de Trombetas, devem-se, muito provavelmente, ao tipo de muda usada no delineamento amostral. No presente estudo foram plantados indivíduos juvenis (*saplings*), com altura > 1 m e endosperma já totalmente absorvido. Em contraste, nos outros três experimentos citados, os indivíduos plantados eram tipo *seedling*, com alturas entre 7 e 23 cm, dependendo da experiência, e com presença de endosperma ainda na sua estrutura basal e, portanto, altamente vulneráveis à predação por cutias e outros mamíferos terrestres (Zuidema, 2003).

O elevado índice de sobrevivência da castanheira nos três tratamentos, mais alta que a observada em outras árvores tropicais em situações experimentais similares (Peña-Claros *et al.*, 2002; Souza *et al.*, 2008), inclusive em situações de baixo desempenho em altura e diâmetro, reafirma *B. excelsa* como uma espécie clímax exigente

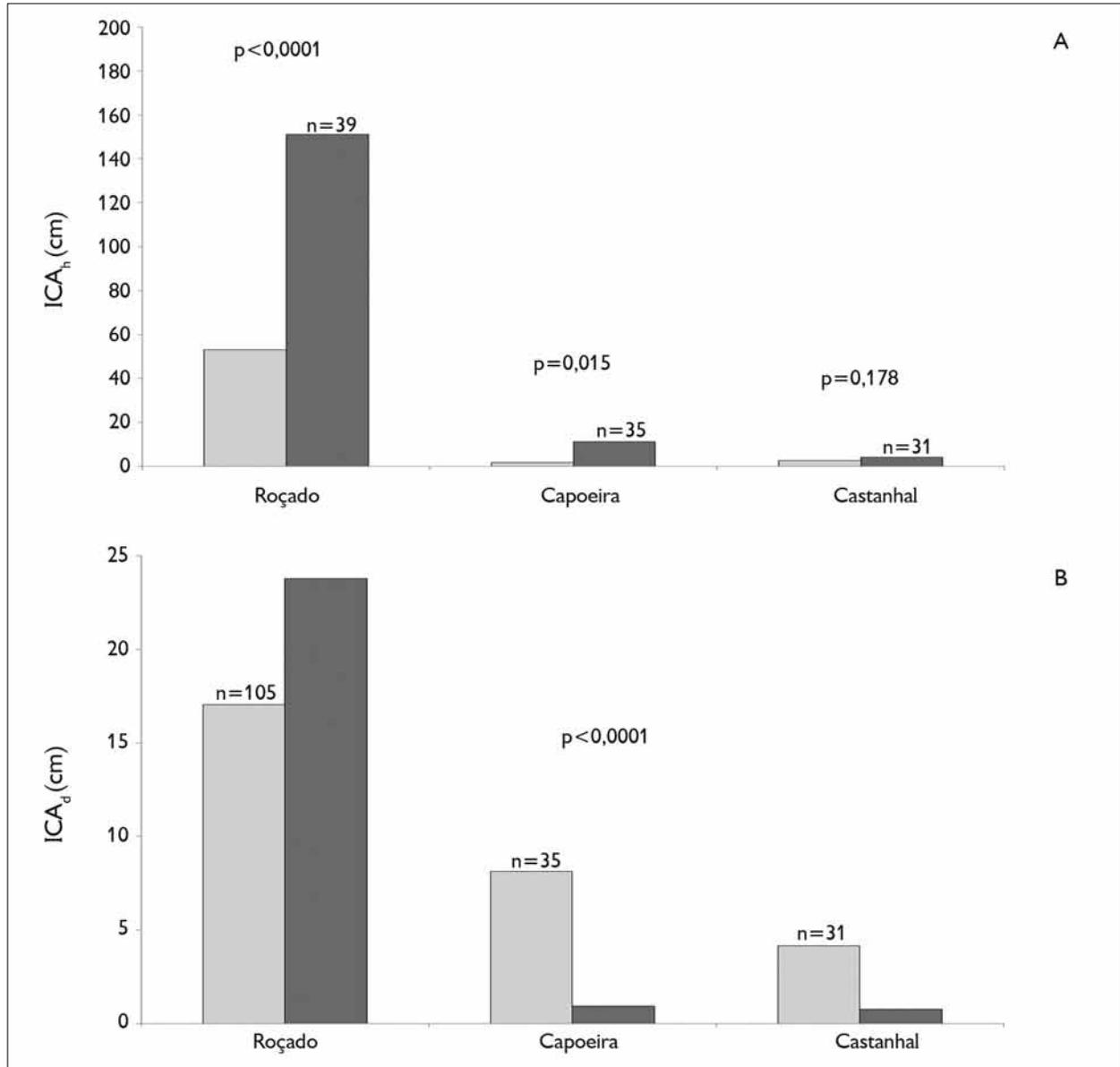


Figura 7. Diferenças de IMA_h e IMA_d entre o primeiro ano (barra clara) e o 2º ano (barra escura) das mudas de *B. excelsa* por tratamentos nos plantios experimentais de Trombetas: A) Incremento Médio Anual em altura (IMA_h) e B) Incremento Médio Anual em diâmetro (IMA_d).

de luz, capaz de sobreviver como plântula em ambientes florestais durante tempo prolongado, até aproveitar o surgimento de alguma grande clareira para se desenvolver.

Os plantios experimentais de Trombetas mostraram alta capacidade de rebrote (71%) da castanheira após episódios traumáticos (secagem, corte) nos três tratamentos

segundo a disponibilidade de luz: maior em áreas de capoeira (80%) e castanhal (70%) do que em roçado (55%). Na maioria dos casos, o aparecimento do rebrote gerou uma situação favorável ao crescimento em altura da planta, notando-se significativos incrementos das taxas médias de crescimento bimestral nos meses seguintes ao

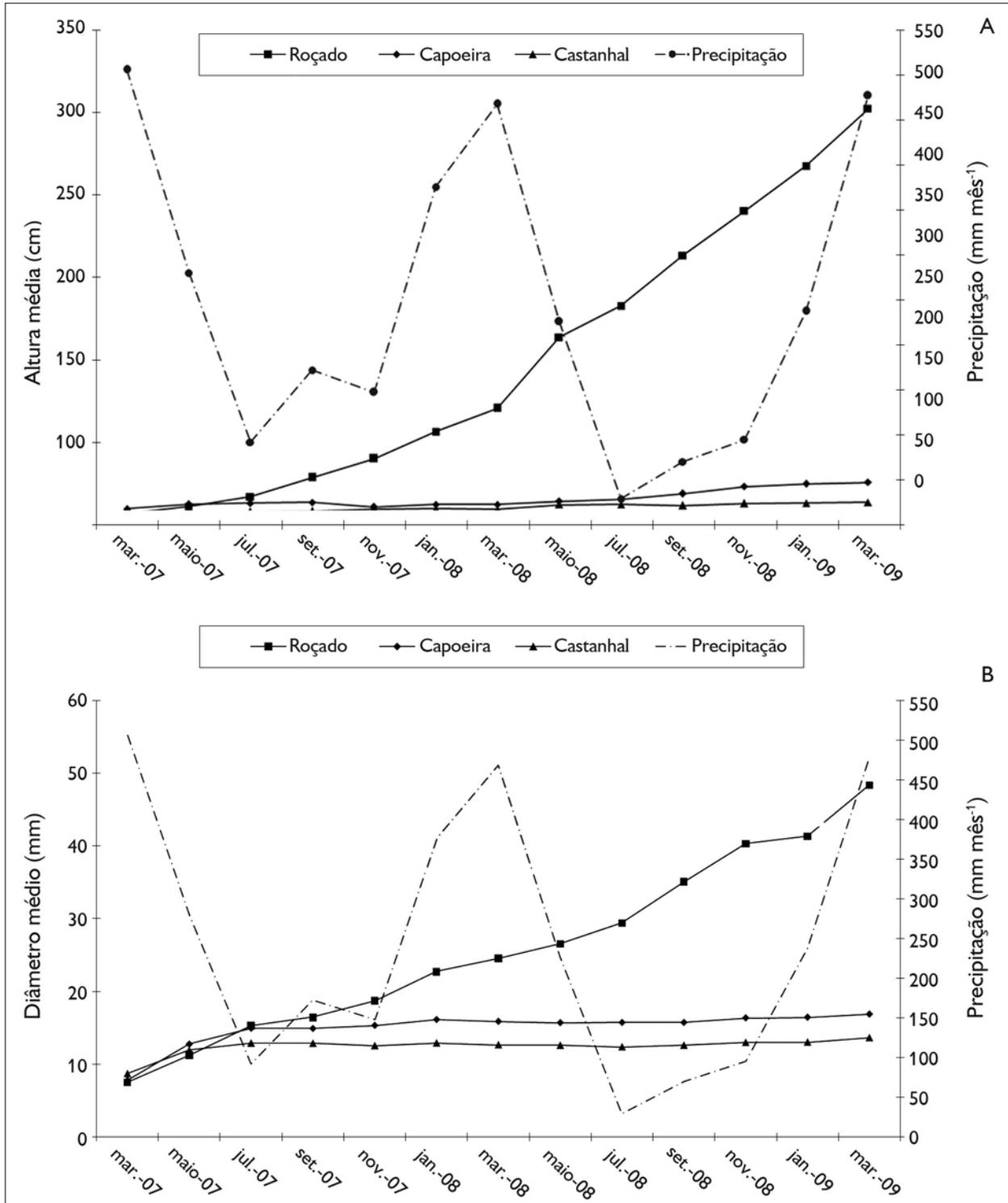


Figura 8. Representação de duas séries temporais de precipitação e crescimento (ICM_h e ICM_d) das mudas de *B. excelsa* por tratamentos ao longo de dois anos de monitoramento: A) Incremento Corrente Médio em altura (ICM_h) e B) Incremento Corrente Médio em diâmetro do colo (ICM_d).

rebrote. Apesar de ser notória, a capacidade de rebrotar da castanheira não tem sido estudada em termos quantitativos.

CRESCIMENTO DAS MUDAS DE *B. EXCELSA*

O crescimento em altura e diâmetro das mudas plantadas na região do rio Trombetas, ao longo de dois anos, dependeu fundamentalmente do tipo de tratamento natural de luz a que foram submetidos os indivíduos de *B. excelsa*. As áreas de roçado se destacaram como as parcelas onde as mudas se desenvolveram melhor, com diferenças significativas quando comparadas com os outros dois tratamentos. Assim, em dois anos, em média, as mudas de roçado cresceram em altura 13 vezes mais ($ICM_h = 202,2$ cm) do que as de capoeira ($ICM_h = 15,6$ cm) e quase 30 vezes mais do que as de castanhal ($ICM_h = 6,8$ cm). As mudas de roçado cresceram em diâmetro 4,4 vezes mais ($ICM_d = 38,6$ mm) do que as de capoeira ($ICM_d = 8,8$ mm) e 7,7 vezes mais do que as de castanhal ($ICM_d = 5,0$ mm). As diferenças de desempenho entre as áreas de castanhal e capoeira não são estatisticamente significantes, havendo, no entanto, uma clara tendência favorável ao tratamento de capoeira.

Em geral, os solos das plantações de Trombetas são ácidos ($pH < 4,5$), com baixa capacidade de troca de cátions ($CTC_t < 2,0$ cmolc kg^{-1}), baixa percentagem de matéria orgânica (entre 1,8 e 2,4%), ricos em ferro e alumínio, e pobres na maioria de nutrientes analisados (Lopes & Guilherme, 1992). Esses resultados não diferem muito dos de outros estudos de solos em áreas de terra firme da região amazônica, caracterizados pela alta acidez, intemperismo intenso, déficit de fertilidade, baixa capacidade de troca catiônica e alta saturação de alumínio (Cochrane & Sánchez, 1982; Schubart *et al.*, 1984; Vieira & Santos, 1987). Os solos de roçado apresentaram textura mais arenosa e menos argilosa que os de castanhal. Os solos de capoeira estão numa situação intermédia. Isto se deve, provavelmente, à maior remoção da argila da camada superficial dos roçados e capoeiras em relação ao ambiente florestal, uma vez que os solos nas áreas antropizadas ficam expostos diretamente às chuvas e à erosão superficial.

As provas estatísticas de comparação entre amostras de solo somente mostraram diferenças significativas entre os tratamentos de castanhal e capoeira em relação ao manganês extraído. O tratamento do castanhal apresentou teores baixos ($< 2,0$ mg kg^{-1}) de manganês em relação aos outros dois tratamentos, que apresentaram concentrações adequadas ($> 5,0$ mg kg^{-1}) para desenvolvimento agrônômico. Não obstante as diferenças de toxicidade por alumínio entre tratamentos (77% em castanhal, 49% roçado, 43% capoeira), todos eles superaram o valor máximo de tolerância de saturação de alumínio para solos agriculturáveis, estimado em 40% (Lopes & Guilherme, 1992).

Tendo em consideração que a saturação por bases (%V) é o resumo da fertilidade do solo, o tratamento do castanhal pode ser considerado como solo distrófico (V% = 23%), contrariamente ao de capoeira (V% = 59%) e roçado (V% = 53%), ambos eutróficos. Ainda que estas diferenças de fertilidade possam explicar o pior desempenho do castanhal em relação aos outros dois tratamentos, estas não conseguem responder por que o desempenho médio das mudas da capoeira e do roçado são tão díspares, apesar da grande similaridade nas propriedades químicas dos seus solos. De fato, as diferenças de crescimento em altura e diâmetro entre roçado e os outros dois tratamentos, localizados na mesma área climática e descartadas influências determinantes das propriedades do solo, idade e procedência das mudas, somente podem ser explicadas pela exposição direta das mudas ao sol, que favorece o melhor desempenho das mudas de *B. excelsa*.

Os resultados obtidos nas plantações experimentais de Trombetas seguem a tendência observada em algumas experiências de enriquecimento com mudas de castanheira, onde o grau de exposição à luz foi determinante para o melhor desempenho da planta, aumentando o crescimento com o tamanho da abertura de dossel (Peña-Claros *et al.*, 2002). O caráter promissor de *B. excelsa*, como espécie ideal de regeneração de áreas florestais pela elevada taxa de crescimento em condições de alta luminosidade e ausência de problemas fitossanitários (Yared *et al.*, 1993),

é confirmado também neste trabalho. De igual forma, estes resultados corroboram o fato de que a castanheira é uma árvore com melhores condições de regeneração e desempenho juvenil em áreas humanizadas ou manejadas em detrimento das áreas de floresta densa com dossel fechado (Cotta *et al.*, 2008; Paiva *et al.*, 2011; Scoles & Gribel, 2011, 2012).

Comparando o crescimento em altura das mudas de *B. excelsa* nas áreas de roçado de Trombetas ($IMA_h = 1,0 \text{ m} \pm 0,6 \text{ m}$) com plantações de castanheiras em áreas limpas, o desempenho em Trombetas foi um pouco inferior, já que nesses plantios experimentais os valores variaram entre $1,2 \text{ m ano}^{-1}$, em Machadinho d'Oeste, Rondônia (Yared *et al.*, 1993), e $1,6 \text{ m ano}^{-1}$ em Cantá, Roraima (Tonini *et al.*, 2008). No entanto, analisando o desempenho em altura das castanheiras com maior rendimento em Trombetas ($IMA_h = 1,5 \text{ m ano}^{-1}$) ou de todas no seu conjunto durante o segundo ano da plantação ($ICA_h = 1,5 \text{ m}$), o crescimento vertical se iguala, ou supera, o da maioria das experiências de plantios de *B. excelsa* consultadas na literatura científica.

Quanto ao crescimento em diâmetro, o resultado obtido no tratamento de alta luminosidade de Trombetas ($IMA_d = 20,4 \text{ mm ano}^{-1}$) é comparável aos plantios experimentais de Rondônia ($IMA_d = 20,7 \text{ mm ano}^{-1}$, Yared *et al.*, 1993) e superior aos localizados no estado de Roraima ($IMA_d = 16,7 \text{ mm ano}^{-1}$, Tonini *et al.*, 2008) e Amazonas ($IMA_d = 12,0 \text{ mm ano}^{-1}$, segundo Souza *et al.*, 2008, e $IMA_d = 13,9 \text{ mm ano}^{-1}$, conforme Fernandes & Alencar, 1993). Tendo em consideração somente o segundo ano, as parcelas de roçado do Trombetas ocupariam o primeiro lugar em relação ao crescimento em diâmetro ($ICA_d = 22,2 \text{ mm}$).

Neste trabalho experimental, o crescimento médio em altura do tratamento florestal em dois anos de monitoramento foi muito baixo ($ICM_h = 6,8 \text{ cm}$), inferior aos 68 cm obtidos em quatro anos no norte da Bolívia, em condições de luminosidade similares (Peña-Claros *et al.*, 2002). No Trombetas, as diferenças de desempenho em altura e diâmetro entre as mudas de roçado e castanhal são grandes, o que sugere uma grande disparidade de comportamento

das mudas em situações opostas de exposição de luz, muito mais vantajosa no extremo luminoso.

Os resultados de Trombetas diferem de maneira expressiva daqueles mostrados por Kainer *et al.* (1998) na Reserva Chico Mendes (Acre), onde o tratamento de capoeira (*shifting cultivation*, 64% de luz incidente) obteve melhores desempenhos do que o tratamento com maior luminosidade ambiental (pastagens, 71% de luz incidente) e o de menor abertura de dossel (*forest gap*, 21,5% de luz incidente). A possível explicação residiria nas características edáficas das áreas florestais convertidas em pastagens, geralmente com solos mais adensados, compactos e erodidos (Reiners *et al.*, 1994), o que os diferencia de outros habitats alterados, como os roçados abandonados, apesar de ter similares condições de exposição à luz.

O crescimento em altura das plantas foi mais elevado durante o segundo ano da plantação, especialmente nas áreas de roçado. Nesse tratamento, pode-se observar uma clara tendência ascendente na taxa de crescimento durante os dois anos, não confirmada nas outras duas situações ambientais. Em relação ao crescimento em diâmetro, o desenvolvimento das mudas foi mais alto no segundo ano nas áreas de roçado. Nas parcelas de capoeira e castanhal, o crescimento observado se concentrou no primeiro ano, nos primeiros quatro meses. A explicação dessa alta taxa de crescimento inicial seria o estímulo promovido pela adubação inicial da cova, antes do plantio das mudas.

Ainda que a diversidade de procedências de mudas escolhidas não tenha interferido nos resultados comparativos entre os três tratamentos, cabe destacar que as plantas autóctones da região de estudo foram as que tiveram maior desempenho em altura e diâmetro, além de máximos índices de sobrevivência.

CONCLUSÃO

O trabalho de monitoramento dos plantios experimentais na região do rio Trombetas mostrou o melhor desempenho das mudas plantadas em áreas abertas (roçados de lavoura de mandioca) em comparação às plantadas em áreas florestais ou

capoeiras jovens. Com isso, o estudo confirma a castanheira como uma árvore nativa com excelente resposta de crescimento em condições de alta luminosidade. O trabalho não evidenciou estatisticamente diferenças significativas de crescimento das mudas entre os tratamentos de alto sombreamento (< 10% de luz incidente) e de luz intermédia (28-77% de abertura de dossel), apesar de haver tendência de melhor desempenho no segundo tratamento. De fato, o ensaio contradiz outros trabalhos quanto ao desempenho da castanheira em capoeiras jovens, já que, aqui, o crescimento, ao longo de dois anos de observação, foi significativamente menor do que o esperado, muito inferior aos dos roçados, apesar da proximidade espacial e similaridade do solo. Dessa forma, o estudo alerta sobre possíveis medidas de enriquecimento em áreas semiabertas com *B. excelsa*, recomendando-se a limpeza periódica da área próxima da muda, com objetivo de manter alta disponibilidade de luz e evitar sombreamento da parte aérea da planta.

De igual forma, este trabalho evidenciou o alto índice de sobrevivência da castanheira, independentemente do tratamento diferencial de luz, ainda que a taxa de mortalidade tenha sido um pouco elevada nas áreas florestais. O estudo reafirma a necessidade de usar-se mudas com alturas acima de 1 metro e sem endosperma em todas as experiências de reflorestamento com *B. excelsa*, como garantia da eficiência na sobrevivência de indivíduos. Por último, revela-se a castanheira como uma espécie com alta capacidade de rebrote e de recuperação de desempenho após episódios traumáticos de natureza fisiológica (secagem da planta) ou estrutural (corte de caule). Trata-se, portanto, de uma espécie de grande potencial para reflorestamentos, recuperação de ambientes degradados e enriquecimento de capoeiras, desde que, neste caso, sejam tomados os devidos cuidados para manter a parte aérea das mudas exposta à luz solar direta.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio financeiro e logístico do Programa de Áreas Protegidas da Amazônia (ARPA), Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade do Porto

Trombetas, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Programa Beca do Instituto Internacional de Educação do Brasil. Agradecemos também ao Projeto "Banco do Germoplasma da Castanheira", do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Mineração Rio Norte (MRN) e Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais (IBAMA), pelo gentil fornecimento de mudas de *Bertholletia excelsa*, produzidas no viveiro da MRN de Porto Trombetas. Somos gratos também ao Laboratório Temático de Plantas e Solos do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, pela execução das análises físico-químicas das amostras de solo coletadas. Os mais sinceros agradecimentos a todas as famílias quilombolas da comunidade de Tapagem, à equipe humana do ICMBio de Porto Trombetas e aos funcionários do Viveiro da MRN em Porto Trombetas, pela ajuda desinteressada neste trabalho. Com especial ênfase, agradecemos a Dometilo Xavier, Manoel Dileno, Josenildo, Junior, Raimundo, Cleunildo, Edelson, Vivaldo, João Raimundo e Josimar, moradores da Tapagem e outras comunidades vizinhas, pela participação direta na plantação e coleta de dados de campo ao longo dos dois anos de trabalho.

REFERÊNCIAS

- ACEVEDO, R. E. & E. CASTRO, 1998. **Negros do Trombetas: guardiães de matas e rios**: 2ª. ed.: 1-262. CEPUJ, Belém.
- ANDERSON, A. B., 1994. Extrativismo vegetal e reservas extrativistas. In: A. B. ANDERSON, M. H. ALEGRETTI, S. SCHWARTZMAN, M. MENEZES, R. MATTOSOS, V. FLEISCHFRESSER, D. FELIPPE, V. WAWZYNIAK & R. ARNT (Orgs.): **O destino da floresta: reservas extrativistas e desenvolvimento sustentável na Amazônia**: 227-245. Relume-Dumará, Rio de Janeiro.
- BENTES-GAMA, M. M., M. L. SILVA, L. J. M. VILCAHUAMÁN & M. LOCATELLI, 2005. Análise econômica de sistemas agroflorestas na Amazônia Ocidental, Machadinho d'Oeste-RO. **Revista Árvore** 29(3): 401-411.
- BOJANIC, A. J. H., 2001. **El balance es hermoso: desarrollo sostenible y los bosques de la Amazonas Boliviana**. PROMAB (Serie Científica 3), Santa Cruz, Bolívia.
- CLAY, J. W., 1997. Brazil nuts. The use of a keystone species for conservation and development. In C. H. FREESE (Ed.): **Harvesting wild species**. Implications for biodiversity conservation: 246-282. The John Hopking University Press, Baltimore.



- CLEMENT, C. R., 1999. Castanha-do-Pará (*Bertholletia excelsa*). In: W. J. CLAY, T. B. SAMPAIO & C. R. CLEMENT (Eds.): **Biodiversidade amazônica: exemplos e estratégias de utilização**: 118-131. SEBRAE-PDET, Manaus.
- CLEMENT, C. R., 2006. A lógica do mercado e o futuro da produção extrativista. **Anais do Simpósio Brasileiro de Etnobiologia e Etnoecologia** 6: 1-10.
- COCHRANE, T. T. & P. A. SÁNCHEZ, 1982. Recursos de tierras, suelos y su manejo en la región amazónica: informe acerca del estado de conocimientos. In: S. B. HECHT (Ed.): **Amazonia**. Investigación sobre agricultura y usos de sus tierras: 169-185. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.
- COTTA, J. N., K. A. KAINER, L. H. O. WADT & C. L. STAUDHAMMER, 2008. Shifting cultivation effects on Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) regeneration. **Forest Ecology and Management** 256(1-2): 28-35.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS (EMBRAPA), 1997. **Manual de métodos de análise de solo**: 1-212. EMBRAPA-CNPq, Rio de Janeiro.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS (EMBRAPA), 1999. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**: 1-270. EMBRAPA Solos, Brasília.
- ENGELBRECHT, B. M. J. & H. M. HERZ, 2001. Evaluation of different methods to estimate understory light conditions in tropical forest. **Journal of Tropical Forest** 17: 207-224.
- FERNANDES, N. P. & J. C. ALENCAR, 1993. Desenvolvimento de árvores nativas em ensaios de espécies. 4. Castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* H. B. K.), dez anos após o plantio. **Acta Amazonica** 23(2-3): 191-198.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS (FAO), 2011. **TradeStat**: crops and livestock products. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/535/DesktopDefault.aspx?PageID=535#anchor>>. Acesso em: 4 maio 2011.
- HAYASHIDA-OLIVER, Y., R. G. A. BOOT & L. POORTER, 2001. Influencia de la disponibilidad de agua y luz en el crecimiento y la morfología de plántulas de *Swietenia macrophylla*, *Cedrela odorata* e *Bertholletia excelsa*. **Ecología en Bolivia** 35: 51-60.
- HOMMA, A. K. O., 1993. **Extratativismo vegetal na Amazônia: limites e oportunidades**: 1-202. EMBRAPA-CPATU/EMBRAPA-SPI, Belém/São Paulo.
- INSTITUTO BOLIVIANO DE COMÉRCIO EXTERIOR (IBCE), 2010. Disponível em: <<http://www.ibce.org.bo/>>. Acesso em: 26 maio 2010.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), 2010. **Produção da extração vegetal e silvicultura 2009**: v. 23: 1-45. IBGE, Rio de Janeiro.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS (IBAMA), 2004. **Plano de manejo da Reserva Biológica do Rio Trombetas**. Ministério de Meio Ambiente, Brasília.
- KAINER, K. A., M. L. DURYEY, N. COSTA MACEDO & K. WILLIAMS, 1998. Brazil nut seedling establishment and autoecology in an extractive reserve in Acre, Brazil. **Ecological Applications** 8(2): 397-410.
- LOPES, A. S. & L. R. G. GUILHERME, 1992. **Interpretação e análise do solo: conceitos e aplicações**. 3ª ed.: 1-48. Associação Nacional para Difusão de Adubos, São Paulo.
- MORI, S. A. & G. T. PRANCE, 1990. Taxonomy, ecology, and economy botany of Brazil nut (*Bertholletia excelsa* Humb. e Bonpl.: Lecythidaceae). **Advances in Economic Botany** 8: 130-150.
- MYERS, G., A. C. NEWTON & O. MELGAREJO, 2000. The influence of canopy gap size on natural regeneration of Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) in Bolivia. **Forest Ecology and Management** 127(1-3): 119-128.
- OLIVEIRA, M. V. T., 2000. Artificial regeneration in gaps and skidding trails after mechanized forest exploitation in Acre, Brazil. **Forest Ecology and Management** 127(1-3): 67-76.
- ORTIZ, E. G., 2002. Brazil nuts (*Bertholletia excelsa*). In: P. SHANLEY, A. R. PIERCE, S. A. LAIRD & A. GUILLEN (Eds.): **Tapping the Green Market: certification & management of non-timber forest products**: 61-74. Earthsan Publications Ltd., London.
- PAIVA, P. M., M. C. GUEDES & C. FUNI, 2011. Brazil nut conservation through shifting cultivation. **Forest Ecology and Management** 261(3): 508-514.
- PEÑA-CLAROS, M., R. G. A. BOOT, J. DORADO-LORA & A. ZONTA, 2002. Enrichment planning of *Bertholletia excelsa* in secondary forest in the Bolivian Amazon: effect of cutting line width on survival, growth and crown traits. **Forest Ecology and Management** 161(1-3): 159-168.
- PEREIRA, H. S., 1994. Manejo agroflorestal da castanheira (*Bertholletia excelsa* H.B.K.) na região do Lago do Tefé (AM). **Revista da Universidade de Amazonas. Série Ciências Agrárias** 3(1): 11-32.
- REINERS, W. A., A. F. BOUWMAN, W. F. J. PARSONS & M. KELLER, 1994. Tropical forest conversions of pasture: changes in vegetation and soil properties. **Ecological Applications** 4: 363-377.
- SALOMÃO, R. P., 1991. Estrutura e densidade de *Bertholletia excelsa* H. e B. ('Castanheira') nas regiões de Carajás e Marabá, Estado do Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, série Botânica** 7: 47-68.
- SALOMÃO, R. P., N. A. ROSA, A. CASTILHO & K. A. C. MORAIS, 2006. Castanha-do-Brasil recuperando áreas degradadas e provendo alimento e renda para comunidades de Amazônia Setentrional. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais** 1(2): 65-78.



- SCHUBART, H. O. R., W. FRANKEN & F. J. LUIZÃO, 1984. Uma floresta sobre solos pobres. **Ciência Hoje** 2(10): 26-32.
- SCOLES, R. & R. GRIBEL, 2011. Population structure of Brazil nut (*Bertholletia excelsa*, Lecythidaceae) stands in two areas with different occupation histories in the Brazilian Amazon. **Human Ecology** 39(4): 455-464.
- SCOLES, R. & R. GRIBEL, 2012. The regeneration of Brazil nut trees in relation to nut harvest intensity in the Trombetas River valley of Northern Amazonia, Brazil. **Forest Ecology Management** 265(1): 71-81.
- SOUZA, C. R., R. M. B. LIMA, C. P. AZEVEDO & L. M. B. ROSSI, 2008. Desempenho de espécies florestais de uso múltiplo. **Scientia Forestalis** 36(77): 7-14.
- STOIAN, D., 2004. Cosechando lo que cae: la economía de la castaña (*Bertholletia excelsa* H. B. K.) en la Amazonía boliviana. In: ALEXIADES, M. N. & P. SHANLEY (Eds.): **Productos forestales, medios de subsistencia y conservación**: estudios de caso sobre sistemas de manejo de productos forestales no maderables. v. 3: 89-116. CIFOR, Bogor, Indonésia.
- SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DA AMAZÔNIA (SUDAM), 1984. **Atlas climatológico da Amazônia brasileira**: 1-125. SUDAM/PHCA (Projeto de Hidrologia e Climatologia da Amazônia, 39), Belém.
- SWAINE, M. D. & T. C. WHITMORE, 1988. On the definition of ecological species groups in tropical rain forest. **Vegetatio** 75: 81-86.
- TONINI, H., M. M. C. OLIVEIRA JR. & D. SCHWENGBER, 2008. Crescimento de espécies nativas da Amazônia submetidas ao plantio no estado de Roraima. **Ciência Florestal** 2(18): 151-158.
- VENTURIERI, A., O. S. WATRIN, M. A. VALENTE, A. G. S. CAMPOS & P. S. SILVA NETO, 2000. **Zoneamento agroecológico nas terras quilombolas Trombetas e Erepecuru**: 1-46. ARQMO/Comissão Pró-Índio de São Paulo/EMBRAPA Amazônia Oriental, São Paulo.
- VIEIRA, L. S. & P. C. T. C. SANTOS, 1987. **Amazônia, seus solos e outros recursos naturais**: 1-416. Ed. Agronômica Ceres, São Paulo.
- VIEIRA, A. H., M. LOCATELLI & V. F. SOUZA, 1998. **Crescimento de castanha-do-brasil em dois sistemas de cultivo**: 1-13. EMBRAPA-CPAF Rondônia (Boletim de Pesquisa, 22), Porto Velho.
- YARED, J. A. G., M. KANASHIRO, L. M. VIANA, T. C. A. CASTRO & J. R. PANTOJA, 1993. Comportamento silvicultural de castanheira (*Bertholletia excelsa* H. & B.) em diversos locais da Amazônia. **Anais do 1º Congresso Florestal Panamericano** 2: 416-418.
- ZAR, J. H., 1999. **Biostatistical Analysis**: 1-663. Ed. Prentice Hall (Fourth Edition), New Jersey.
- ZUIDEMA, P. A., 2003. **Demografía y manejo del árbol de castaña (*Bertholletia excelsa*)**: 1-117. PROMAB (Serie Científica 6), Riberalta, Bolívia.
- ZUIDEMA, P. A., W. DIJKMAN & J. VAN RIJSOORT, 1999. Crecimiento de plantines de *Bertholletia excelsa* H.B.K. en función de su tamaño y la disponibilidad de luz. **Ecología en Bolivia** 33: 23-36.
- ZUIDEMA, P. A. & R. G. A. BOOT, 2002. Demography of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*) in the Bolivian Amazon: impact of seed extraction on recruitment and population dynamics. **Journal of Tropical Ecology** 18: 1-31.

