

CAPÍTULO 14

RESTAURAÇÃO FLORESTAL EM ÁREAS DE MINERAÇÃO DE BAUXITA NA AMAZÔNIA

John A. Parrotta
Oliver H. Knowles

RESUMO	309
INTRODUÇÃO	310
MÉTODOS	312
Localização da área de estudos	312
Propagação das espécies nativas e comportamento inicial	312
Estrutura dos estandes florestais e florística	314
Análise de dados	315
RESULTADO E DISCUSSÃO	315
Propagação e comportamento das espécies arbóreas	315
Influência do preparo da área no desenvolvimento da floresta	316
O papel da composição florística da paisagem e da fauna nos processos de restauração	317
Efeito da composição do dossel na estrutura e diversidade florística da floresta	320
Cobertura da floresta e densidade das árvores	320
Riqueza de espécies arbóreas	321
Dominância de espécies arbóreas	323
Longevidade de espécies arbóreas	323
CONCLUSÕES	327
AGRADECIMENTOS	328
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	329

RESUMO

A restauração de ecossistemas auto-sustentáveis de florestas tropicais em áreas submetidas a mineração de superfície é um enorme desafio que requer a integração de técnicas experimentadas de recuperação e estratégias de reflorestamento apropriadas para condições específicas de sítio, incluindo padrões de biodiversidade da paisagem. Restauradores trabalhando em muitas áreas tropicais são prejudicados pela falta de informações básicas sobre uma grande variedade de espécies nativas que caracterizam as florestas pré-distúrbio, bem como pelo conhecimento insuficiente acerca da ecologia de perturbações e regeneração natural para desenhar programas de restauração efetivos. Uma exceção notável a isto é o programa de restauração florestal desenvolvido desde o início da década de 80 por uma companhia brasileira de mineração atuando em Trombetas, Estado do Pará, na Amazônia Central. Uma estratégia de pesquisa sistemática de viveiro e campo foi usada para desenvolver um programa de reflorestamento baseado em plantios mistos de mais de 70 espécies nativas da floresta primária. Esta técnica tem sido usada para reflorestar mais de 100 ha de minas exploradas a cada ano durante os últimos 15 anos. A pesquisa nos últimos anos tem avaliado esta abordagem, e outros métodos de reflorestamento geralmente mais simples, usados em pequena escala nessas áreas. O desenvolvimento da biodiversidade pós-plantio e outros indicadores do sucesso da restauração ou sustentabilidade foram estudados. Os resultados desses estudos mostraram uma importância preponderante da preparação cuidadosa do sítio e das práticas de manejo e reposição da camada superficial do solo na determinação tanto da produtividade futura como da biodiversidade da floresta em desenvolvimento, independentemente da complexidade do desenho de plantio usado. A inclusão de uma grande variedade de espécies florestais, particularmente espécies sucessionais tardias, foi considerada muito importante para restauração em larga escala, devido a limitações dos processos naturais de recuperação que inibem a dispersão e subsequente colonização de muitas espécies características das florestas maduras. Muitas das lições aprendidas neste local são aplicáveis para melhorar o desenho de programas de reabilitação e restauração de áreas mineradas em todo o mundo.

Palavras-chave: reabilitação de áreas mineradas, bauxita, restauração, regeneração natural, plantação, banco de sementes do solo, sucessão, ciclo de vida de árvores, florestas tropicais.

INTRODUÇÃO

A mineração de superfície em muitos países tropicais afeta áreas de floresta relativamente pequenas, em comparação com outras formas de mudança de uso de terras, como agricultura, exploração madeireira, produção de energia hidrelétrica e construção de estradas. Entretanto, os impactos advindos da mineração de superfície podem ser bastante extensivos, devido à erosão e escoamento superficial, resultando em assoreamento e deterioração da qualidade da água em rios, lagos e reservatórios próximos. A fim de evitar esses impactos ambientais, é necessário uma efetiva restauração florestal nas áreas mineradas. Isso requer planejamento cuidadoso e integração de operações de reabilitação baseadas em princípios ecológicos e silviculturais bem estabelecidos (Bradshaw, 1987 e Bradshaw, 1997). Para um bom crescimento das espécies arbóreas plantadas e uma regeneração natural vigorosa a partir das sementes viáveis do solo superficial da floresta, os pré-requisitos essenciais são uma preparação adequada do solo, incluindo recuperação da paisagem da área minerada, manuseio e reaplicação do solo superficial, e subsolagem profunda em solos compactados (Tacey, 1979; Tacey & Glossop, 1980; Fox, 1984; Ferraz, 1993; Grant et al., 1996 e Parrotta et al., 1997). Além disso, é necessário um conhecimento silvicultural para a seleção de espécies e técnicas silviculturais apropriadas às condições locais de sítio e a objetivos gerais da restauração. Em muitas regiões tropicais, incluindo a bacia Amazônica, faltam informações essenciais a respeito de disponibilidade de sementes, técnicas de propagação, taxas de crescimento e adaptabilidade ao sítio para centenas de espécies candidatas presentes em florestas naturais (Knowles & Parrotta, 1995).

Os programas de restauração florestal no Brasil (Majer, 1992, 1996; Gaunt & Bliss, 1993 e Knowles & Parrotta, 1995), Austrália (Tacey, 1979) e em outros países tropicais têm se baseado no plantio de espécies nativas e exóticas a fim de restabelecer rapidamente a cobertura arbórea em áreas mineradas e como consequência facilitar a sucessão florestal natural. No Brasil, até o início da década de 80, programas de reabilitação de áreas mineradas de bauxita envolveram reflorestamento com espécies exóticas de rápido crescimento, como *Eucalyptus* spp., *Mimosa scabrella* Benth. e espécies australianas de *Acacia* spp.

Desde 1979, a Companhia de Mineração Rio do Norte S.A. (MRN) tem desenvolvido um programa de reflorestamento voltado à restauração da cobertura florestal destruída a uma taxa de aproximadamente 100 ha por ano durante a

extração da bauxita em Trombetas, no oeste do Estado do Pará (Knowles & Parrotta, 1995). A abordagem adotada pela MRN no reflorestamento misto com espécies nativas tem sido o modelo padrão adotado na jazida de Trombetas desde meados da década de 80. Inclui um cuidadoso preparo do sítio (incluindo reposição da camada superficial de solo) e plantio de talhões mistos com 80-100 espécies, a um custo aproximado de US\$ 2.500,00/ha. Esta abordagem mais sofisticada envolvendo plantios mistos com espécies nativas tornou-se a norma industrial em resposta à legislação ambiental brasileira que exige das companhias a restauração, no mais alto grau possível, da vegetação original destruída durante a mineração.

Na área de mineração de Trombetas, outros métodos de reflorestamento foram testados em menor escala durante a década de 80, em adição ao modelo de plantio misto padrão. Estes incluíram o estabelecimento de plantações mistas usando principalmente espécies nativas de início de sucessão e ciclo de vida curto, e plantios mistos de espécies na maioria exóticas. Também presentes neste sítio havia pequenas áreas onde: (1) o plantio padrão com espécies nativas foi aplicado mas, devido a falhas operacionais (aplicação inadequada de solo superficial), o crescimento subsequente das árvores foi grandemente reduzido, e (2), os protocolos de preparação de sítio e reposição do solo superficial foram seguidos, mas as árvores não foram plantadas. A existência desses estandes florestais de idade similar (9-13 anos), estabelecidos usando diferentes métodos ou tratamentos, possibilitaram uma oportunidade única para comparar a estrutura, composição florística, estado sucessional e sustentabilidade destes tratamentos, tendo como referência as florestas primárias que circundam os sítios de mineração. Neste trabalho, são sumarizados os principais resultados desses estudos, com intuito de que possam ser úteis em programas de restauração de minas em outros locais nos trópicos. Detalhes adicionais desses estudos podem ser obtidos em Parrotta et al. (1997) e Parrotta & Knowles (1999).

MÉTODOS

Localização da área de estudos

A mina de Trombetas está localizada na Floresta Nacional Sarará-Taquera, no planalto de Saracá, a uma altitude de 180 m, a 65 km a nordeste da cidade de Oriximiná e a 30 km ao sul do Rio Trombetas, no oeste do estado do Pará, Brasil (1°40'S; 56°27'O). A precipitação média anual em Porto Trombetas (1970-1994) é 2.185 ± 64 (desvio padrão) mm, com estações seca (inverno) e úmida (verão) bem definidas; a pluviosidade média mensal excede 100 mm em todos os meses exceto de julho a outubro. As temperaturas máximas e mínimas médias são, respectivamente, 34,6°C e 19,9°C. Os solos do planalto de Saracá são latossolos amarelos, ácidos, com uma fina camada de húmus (Ferraz, 1993). A vegetação regional é do tipo floresta equatorial ombrófila densa (IBGE, 1993), na qual as matas que ocupam os planaltos e encostas possuem um altura média do dossel de 20-35 m, e árvores emergentes com até 45 m de altura (Knowles & Parrotta, 1995; 1997). A floresta que circunda a mina era, até bem recentemente, bastante inacessível e não perturbada por caça ou desmatamento nos últimos 200-300 anos. Consequentemente, a diversidade de vida silvestre na vizinhança permanece alta e inclui grandes mamíferos arborícolas e terrestres, aves e morcegos que possuem um papel fundamental na sucessão florestal.

Propagação das espécies nativas e comportamento inicial

Durante a década de 1980, 160 espécies arbóreas (de 42 famílias) encontradas na floresta primária circundando a mina foram avaliadas sistematicamente a fim de determinar o método de propagação mais efetivo e econômico e determinar sua performance inicial após o plantio na área minerada. Este programa de pesquisa, descrito em detalhes em Knowles & Parrotta (1995), envolveu avaliações de fenologia de frutificação, viabilidade de sementes, tratamentos para germinação de sementes, métodos de propagação (semeadura direta, propagação vegetativa por estacas, plântulas coletadas na floresta e mudas produzidas em viveiro), sobrevivência inicial e crescimento durante os dois primeiros anos após o plantio sob condições operacionais.

A área de estudo localiza-se no lado leste do planalto de Saracá, em áreas mineradas entre 1982 e 1986, próximas à floresta madura não perturbada. Para todos os tratamentos descritos na Tabela 1 (com exceção do plantio misto com

Tabela 1. Tratamentos de Reflorestamento Estudados em Área de Mineração de Bauxita em Trombetas.

Tratamento	Descrição	Área Total	Ano de Estabelecimento
Plantio Misto com Espécies Nativas (PMN)	Plantio misto com cerca de 70 espécies florestais nativas de diferentes estádios sucessionais.	100 ha	1985
Plantio Misto com Espécies Nativas "falido" (PMN "falido")	Igual ao anterior, mas com pequena sobrevivência (<25%) das árvores plantadas aparentemente devido à inadequada preparação do sítio, com insuficiente aplicação de solo superficial.	Pequenas áreas (<0,1 ha) no Trat. PMN	1985
Plantio Misto com Espécies Comerciais (PMC)	Plantios mistos com <i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh., <i>E. Citriodora</i> Hook. f., <i>E. pellita</i> F. Muell., <i>E. torrelliana</i> F. Muell., <i>E. Urophylla</i> S. T. Blake, <i>Acacia mangium</i> Willd. e <i>Sclerobium paniculatum</i> Vogel.	2,0 ha	1987
Semeadura Direta	Plantios mistos de 48 taxa florestais nativos, principalmente de ciclo curto, podados a 40 cm de altura para estimular rebrota em 1987.	17 ha	1986
Regeneração Natural	Regeneração iniciada de sementes presentes no solo superficial aplicado.	4 sítios, 0,3-1,0 ha cada	1984-87

espécies nativas "falido"), a sequência de recuperação do estande e de preparo de solo foi seguida, o que inclui nivelamento do talude, reposição de aproximadamente 15 cm de solo superficial e serrapilheira lenhosa (removidos do sítio antes da exploração da lavra e empilhado por até 6 meses antes da aplicação), sub-solagem profunda (até 90 cm de profundidade) em linhas espaçadas em 1 x 1 m, plantio ao longo de linhas de sub-solagem alternadas em espaçamento 2 x 2 m (2.500 árvores/ha) usando sementes, estacas e/ou mudas envasadas, dependendo da espécie e tratamento.

Estrutura dos estandes florestais e florística

Entre 1995 e 1997, a estrutura dos talhões, composição florística e desenvolvimento do piso florestal foram avaliados para todos os tratamentos e nas florestas maduras do planalto de Saracá, usando parcelas circulares com 10 m de diâmetro (78,5 m²) como unidades de estudo (Parrotta et al., 1997; Parrotta & Knowles, 1999). Devido a diferenças de áreas entre os tratamentos, a área total amostrada variou entre os mesmos. As parcelas de estudo foram localizadas ao acaso dentro dos sítios de estudo na regeneração natural, plantio misto com espécies comerciais e plantio misto com espécies nativas "falido". Nos dois tratamentos remanescentes (plantio misto com espécies nativas, semeadura direta), as parcelas foram estabelecidas em diferentes distâncias da floresta primária intacta ao longo da borda do platô em direção do interior do planalto de Saracá. Nos talhões de semeadura direta o centro das parcelas ficou a 0, 10, 20, 40, 100, 250, 500 e 725 m ao longo de duas transeções; nos talhões de plantio misto com espécies nativas as parcelas foram dispostas ao longo de quatro transeções, com centros a 0, 10, 20, 40, 80, 160, 320 e 640 m. As parcelas na floresta primária foram locadas ao longo de duas transeções de 100 m de comprimento, na vizinhança das áreas de restauração no lado leste do platô de Saracá, aproximadamente a 50 m da margem do mesmo.

Dentro de cada uma das parcelas de 78,5 m², um inventário completo para todas as árvores e arbustos adultos e jovens, trepadeiras, ervas e gramíneas. Para cada uma das categorias florísticas, o número total de indivíduos (ou touceiras, para gramíneas) de cada espécie foi anotado. Para árvores e arbustos com altura $\geq 2,0$ m (incluindo palmeiras) a altura e o diâmetro do caule foram também medidos. A altura e o diâmetro das árvores plantadas foram registrados separadamente. As espécies lenhosas foram também classificadas pela sua longevidade esperada, ou ciclo de vida (< 20, 20-40, 40-80, ou > 80 anos) baseado em observações de longo prazo feitas por Knowles na flora arbórea local, e também quanto à sua origem, se plantadas ou regeneradas naturalmente.

através do banco de sementes do solo aplicado ou entrada subsequente através da chuva de sementes das florestas naturais vizinhas. A cobertura do dossel foi estimada através da porcentagem média de cobertura, medida com um densitômetro esférico de copas a 1 m do solo em 4 pontos localizados a 3 m do centro das parcelas (direções magnéticas N, S, L, O). A profundidade da camada de húmus e serrapilheira foi medida em 10 pontos localizados ao acaso dentro de cada parcela, e as médias para cada horizonte utilizadas nas análises subsequentes.

Análise dos dados

O número de indivíduos por m^2 e a área basal (para árvores com altura ≥ 2 m) foram calculados para todas as espécies em cada tratamento. A riqueza de espécies para cada categoria florística foi expressa simplesmente pelo número de espécies por parcela. Com base na listagem total de espécies de plantas para todas as parcelas de cada tratamento, o quociente de similaridade de Sorensen (I) foi calculado para a flora arbórea para se determinar o grau de semelhança entre os tratamentos de restauração e a floresta madura. A cobertura média do dossel, a altura do dossel, a área basal total de espécies arbóreas, a espessura da camada de serrapilheira e húmus, a densidade de plantas e a riqueza de espécies lenhosas, trepadeiras, ervas e gramíneas foram comparadas entre tratamentos usando o teste t não pareado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Propagação e comportamento das espécies arbóreas

Os métodos de propagação para 160 espécies testadas pela Mineração Rio Norte na área de recuperação da mina foram, em ordem crescente de custo: semeadura direta, plantio de mudas decepadas (mudas coletadas na floresta, com poda da parte aérea e radicular, permanecendo apenas a raiz principal), plântulas coletadas na floresta, e mudas produzidas em viveiro. Foi encontrado que a semeadura direta foi adequada (com taxas de sobrevivência acima de 75%) para 21% das espécies estudadas; essas espécies geralmente tinham sementes grandes (> 2 cm de comprimento e largura) que podiam ser manipuladas no campo pelos trabalhadores do plantio. Para 13 espécies

adicionais (8%), as mudas decepadas foram a opção mais econômica e viável. Dentre as 113 espécies restantes, 78 (49%) obtiveram um maior sucesso através de plântulas coletadas na mata, com apenas 35 espécies ou 22% do total requerendo produção convencional de mudas no viveiro.

As sementes de muitas espécies tropicais requerem escarificação química ou mecânica para acelerar sua germinação. Tratamentos pré-semeadura podem, entretanto, elevar significativamente os custos de produção de mudas. Em uma escala operacional como a praticada pela MRN em Trombetas, é importante se determinar os métodos mais baratos de manipulação de sementes para minimizar esses custos. Dentre as 160 espécies nativas estudadas, entretanto, 71% não necessitam nenhum método de escarificação para quebrar a dormência das sementes, 21% delas necessitam de escarificação mecânica e apenas 7% escarificação química (imersão em H_2SO_4 concentrado). Esses resultados foram usados para desenvolver estratégias mais baratas para seleção do estoque de plantio e elaboração de protocolos de manejo de sementes em viveiro.

Avaliações da adaptabilidade pós-plantio e crescimento inicial mostraram que 37% das 160 espécies arbóreas estudadas estavam bem adaptadas às condições de céu aberto da área de reflorestamento, mostrando crescimento vigoroso da parte aérea e sobrevivência $\geq 75\%$ durante os dois primeiros anos de plantio. 3 espécies adicionais (19%) foram classificadas como razoáveis, com bom crescimento da parte aérea e taxas de sobrevivência entre 50-75%; essas espécies preferem sombra parcial durante o primeiro ano de plantio, mas também crescem bem sob pleno sol.

As 71 espécies remanescentes (44%) tiveram um comportamento ruim durante os dois primeiros anos, com taxas de sobrevivência menos que 50% e estagnação do crescimento da parte aérea; espécies deste grupo geralmente requerem sombra, ao menos durante os dois primeiros anos de seu desenvolvimento, e são recomendadas para plantios de enriquecimento abaixo do dossel fechado em plantações usando as espécies melhor adaptadas, preferencialmente cerca de 5 anos após o plantio inicial. Detalhes adicionais da propagação de espécies arbóreas e comportamento inicial após o plantio são fornecidos em Knowles & Parrotta (1995).

Influência do preparo da área no desenvolvimento da floresta

A importância do cuidado a ser tomado no preparo da área, particularmente no manejo da camada superficial de solo, é evidenciada quando se compara o desenvolvimento estrutural e florístico 10 anos após o plantio misto de espécies

nativas nas áreas de mineração em Porto Trombetas, com e sem aplicação adequada de solo superficial durante o preparo inicial. Como pode ser observado na Tabela 2, a área basal, a altura da copa e a porcentagem de cobertura de copa das árvores foram significativamente menores nas parcelas com aplicação inadequada de solo superficial (PMN "falhado") que nas parcelas onde os protocolos prescritos para preparo da área foram adotados. Nas primeiras parcelas, as taxas de acúmulo de serapilheira e a formação de húmus foram relativamente reduzidas. Embora a densidade global de espécies lenhosas nessas áreas não tenha sido menor, indivíduos com altura abaixo de 2 m foram relativamente raros.

Houve claras diferenças na riqueza florística dessas áreas, sendo que nas parcelas onde o plantio misto com espécies nativas falhou foram encontradas significativamente menos espécies (aproximadamente 50%) arbóreas e arbustivas, plantadas e naturalmente regeneradas, para ambas as classes de tamanho, plântula (< 2 m de altura) e grandes (> 2 m de altura). Como resultado do pobre desempenho das árvores plantadas, as parcelas com os plantios mistos falhos tenderam a ser dominados por gramíneas resistentes ao fogo e um número bastante limitado de espécies florestais secundárias de ciclo de vida curto, que conseguem sobreviver nessas condições.

O papel da composição florística da paisagem e da fauna nos processos de restauração

Em todos os tratamentos de plantios estudados, o número total de espécies arbóreas e arbustivas presentes nas parcelas estudadas excederam o número de espécies plantadas. A regeneração pelas sementes na camada superficial de solo aplicada e aquela resultante de sementes vindas de comunidades florestais maduras vizinhas, compreenderam entre 70 e 83% do total da riqueza de espécies arbóreas, e de 88 a 98% do número total de mudas e indivíduos maiores nas parcelas de estudo (Tabela 2). Baseado na experiência dos autores sobre a viabilidade de sementes, estimou-se que aproximadamente 40% das espécies arbóreas regenerando nas áreas de estudo poderiam ter sobrevivido no banco de sementes do solo durante o período de 6 a 12 meses entre o empilhamento e reaplicação da camada superficial de solo nas áreas de reflorestamento. O restante das espécies, até 75 no tratamento de plantio misto com espécies nativas, foi considerado resultado da entrada de sementes pós plantio, facilitada principalmente por pássaros, morcegos e mamíferos terrestres, que são os agentes principais de dispersão de sementes nas florestas de terra alta dessa região (Knowles & Parrotta, 1997; Parrotta et al., 1997).

Tabela 2. Características estruturais e diversidade de espécies arbóreas em parcelas com 9 a 12 anos e floresta primária na mina de bauxita em Trombétas¹

Tratamento	Floresta madura (primária)	Plantio misto com espécies nativas	PMN "falido" (horizonte superficial insuficiente)	Plantio misto com espécies comerciais	Semeadura direta	Regeneração natural
Ano de estabelecimento	?	1985	1985	1987	1986	1983-87
Anos desde o estabelecimento	>200 ²	10	10	9	10	9-13
Área amostral (m ²)	628	2.512	471	628	1.256	942
Número de parcelas amostrais/tratamento	8	32	6	8	16	12
Cobertura de copas (%)	75.7 ^a	56.1 ^{cd}	27.8 ^a	59.8 ^{bc}	53.2 ^{cd}	63.5 ^b
Altura do dossel (m)	21.8 ^a	10.6 ^b	4.5 ^c	17.4 ^a	10.4 ^b	11.7 ^b
Área basal de espécies arbóreas (m ² /ha)	76.5 ^a	13.9 ^b	1.5 ^c	24.9 ^b	16.8 ^{cd}	19.6 ^{cd}
Espessura da camada de serrapilheira (mm)	29.4 ^b	32.4 ^b	14.0 ^c	42.7 ^a	32.7 ^b	46.0 ^b
Densidade (número de indivíduos/m ²)	13.3 ^a	8.3 ^{ab}	1.1 ^c	5.7 ^b	6.9 ^b	6.3 ^a
Plantadas	5.47 ^a	3.06 ^{bc}	2.85 ^{cd}	1.32 ^d	3.47 ^a	1.55 ^{cd}
Outras ³	0	0.18 ^b	0.05 ^c	0.16 ^b	0.52 ^a	0
Plantadas	5.47 ^a	2.88 ^{cd}	2.80 ^{cd}	1.17 ^d	3.04 ^a	1.55 ^{cd}
Outras ³	5.04 ^a	2.96 ^{cd}	2.75 ^b	1.04 ^d	2.93 ^b	1.19 ^{cd}
Plantadas	0.43 ^b	0.40 ^b	0.13 ^c	0.28 ^b	0.54 ^a	0.36 ^b
Outras ³	0.48 ^b	0.40 ^b	0.24 ^a	0.34 ^b	0.82 ^a	0.43 ^b
Plantadas	0.17 ^a	0.40 ^b	2.74 ^a	1.16 ^b	1.14 ^{bc}	0.52 ^{cd}
Outras ³	0.35 ^b	0.01 ^c	0	1.18 ^a	0.18 ^b	0.025 ^e
Riqueza de espécies (no. espécies/parcela)	67.3 ^a	28.5 ^c	15.5 ^a	17.5 ^c	35.4 ^b	23.1 ^d
Plantadas	0	8.8 ^a	4.2 ^b	5.5 ^b	11.8 ^a	0
Outras ³	67.3 ^a	23.7 ^b	11.8 ^a	12.3 ^a	28.6 ^b	23.1 ^d
Plantadas	59.8 ^a	21.2 ^c	13.3 ^{aa}	9.8 ^b	31.6 ^a	16.0 ^d
Outras ³	21.5 ^b	14.8 ^b	6.5 ^b	11.4 ^c	11.6 ^c	11.4 ^c
Índice de similaridade de Sorensen (I) ⁴						
Plantadas	1.00	0.51	0.22	0.16	0.50	0.40
Outras ³						

¹Médias de tratamentos seguidas de mesma letra nas linhas não diferem estatisticamente ($P < 0.05$, teste t).

²Calculada pela média das cinco áreas mais altas da parcela.

³Outras³ espécies incluem aquelas regeneradas do banco de sementes do solo superficial aplicado ou chegando através da chuva de sementes das florestas primárias vizinhas.

⁴Comparações com a floresta primária vizinha. Veja Apêndice para lista de espécies arbustivas e arbóreas amostradas. Listagem completa de espécies da floresta madura e dos tratamentos de restauração disponível com os autores.

Espécies arbóreas que têm sementes dispersas pela fauna são significativamente mais abundantes nas parcelas mais próximas a florestas não perturbadas vizinhas à área de mineração que naquelas mais distantes da borda da floresta madura. Embora tenha havido abundante colonização por espécies florestais lenhosas até 640m da borda da floresta, nos plantios mistos com espécies nativas, a densidade e diversidade de espécies colonizadoras foi inversamente correlacionada com a distância na área de reflorestamento (Parrotta et al., 1997).

Esses resultados sugerem que a dispersão de sementes pode ser limitante no processo de enriquecimento da flora arbórea dentro da área de reflorestamento. Uma comparação dos tamanhos das sementes entre espécies regenerando na área de reflorestamento e aquelas encontradas na floresta madura indicou que, enquanto as espécies arbóreas com sementes pequenas já estão bem representadas na área de reflorestamento, as espécies de sementes grandes estão menos representadas (Parrotta et al., 1997). Essas incluem membros das famílias mais importantes, em termos de dominância e função ecológica, da floresta madura, como Annonaceae, Chrysobalanaceae, Lauraceae, Palmae e Sapotaceae. Espécies arbóreas dessas famílias também tendem a ter um desempenho bastante pobre quando plantadas em condições de pleno sol nessa área (Knowles & Parrotta, 1995).

Nas florestas da região de Trombetas, como em outras florestas tropicais úmidas, espécies de sementes grandes geralmente dependem de uma variedade de espécies de pássaros e de mamíferos para sua dispersão. Levantamentos de fauna anteriores nas áreas de reflorestamento nesse local (Pedreira Gonzaga, 1991; Parrotta et al., 1997 e Wunderle, 1997) sugerem que a regeneração de espécies arbóreas com sementes grandes é limitada pela escassez relativa de importantes dispersores nas comunidades em desenvolvimento, por exemplo, aves como mutuns, tucanos, e araçaris; mamíferos terrestres como veado, cutia, anta e gambá; e primatas. Considerando que os plantios de restauração continuam a se desenvolver estrutural e floristicamente, espécies com sementes grandes de famílias atualmente sub representadas podem eventualmente se estabelecer à medida que as condições se tornem mais favoráveis para uma maior diversidade de pássaros e mamíferos dispersores de sementes, bem como para a germinação das sementes e o desenvolvimento das plântulas. Apesar disso, recomenda-se que os gerentes da restauração nesse local façam plantios dessas espécies usualmente exigentes em sombra para o enriquecimento do sub-bosque, assim que as árvores inicialmente plantadas estejam altas o suficiente para permitir fácil acesso, geralmente aos cinco anos após o plantio.

Efeito da composição do dossel na estrutura e diversidade florística da floresta

Cobertura da floresta e densidade de árvores

A cobertura do dossel da floresta, a área basal de cada árvore e as profundidades de serapilheira e húmus foram bastantes similares entre os tratamentos com espécies nativas mistas, espécies comerciais mistas, semeadura direta e regeneração natural, embora distintamente dissimilares àquelas da floresta madura (Tabela 2). A cobertura de copa média variou entre 53 e 64%, e a área basal de 13,9 a 24,9 m² ha⁻¹ entre os tratamentos para restauração; comparados com 76% e 77 m² ha⁻¹ na floresta madura. Esses valores foram maiores para o tratamento com espécies comerciais mistas e menores para com espécies nativas mistas.

As alturas médias do dossel foram significativamente maiores na floresta madura (21,6±1,5 DP m) e o tratamento com espécies comerciais mistas (17,4±0,9 DP m) do que nos outros três tratamentos (faixa de variação das médias: 10,4-11,7 m). O acúmulo de serapilheira foi significativamente maior nos tratamentos com espécies comerciais mistas e com regeneração natural (faixa de variação da profundidade média da serapilheira: 43-46 mm) que nos talhões de semeadura direta, plantio misto de espécies nativas e floresta madura (faixa de variação das médias: 29-33 mm). A espessura da camada de húmus variou entre 5,7 mm nos talhões com espécies comerciais mistas e 13,3 mm para a floresta madura, e as diferenças entre os tratamentos só foram significativas entre esses dois extremos.

A densidade para as espécies arbóreas e regeneradas naturalmente foi menor em todos os tratamentos para restauração do que da floresta madura (Tabela 2). As árvores plantadas compreenderam 5,6-15% do total entre os tratamentos com plantio, com os outros indivíduos originados do banco de sementes do solo, entrada subsequente de sementes vindas de florestas maduras do entorno e, para um pequeno número de espécies, da regeneração de árvores plantadas. As plântulas (indivíduos com menos de 2 m de altura) compreenderam de 77-87% da densidade total de espécies lenhosas entre os tratamentos para restauração e 92% na floresta madura. A densidade média de indivíduos ≥ 2 m variou de 0,28 a 0,54 indivíduos.m⁻² para os tratamentos para restauração e foi significativamente maior no tratamento com semeadura direta do que nos outros tratamentos para restauração ou na floresta madura.

Riqueza de espécies arbóreas

A riqueza de espécies arbóreas variou grandemente entre os tratamentos. Os números totais de espécies registradas foram: 157 na floresta madura (representando 39 famílias); 141 espécies (de 38 famílias) no tratamento com espécies nativas mistas; 47 espécies (de 22 famílias) nas parcelas onde houve "falhas" da mistura de espécies nativas; 40 espécies (de 21 famílias) no tratamento com espécies comerciais mistas; 117 no tratamento com semeadura direta (de 37 famílias); e 86 espécies (de 32 famílias) no tratamento com regeneração natural (Figura 1). Esses totais incluem espécies plantadas, ou seja, 7, 42 e 73 nos tratamentos com espécies comerciais mistas, semeadura direta e com espécies nativas mistas, respectivamente. Se as espécies plantadas não fossem contabilizadas, as relações espécies-área apresentadas na Figura 1 pareceriam semelhantes para todas as parcelas com espécies comerciais mistas e com "falhas" das espécies nativas mistas, que contêm um número menor de árvores e arbustos que os outros tratamentos.

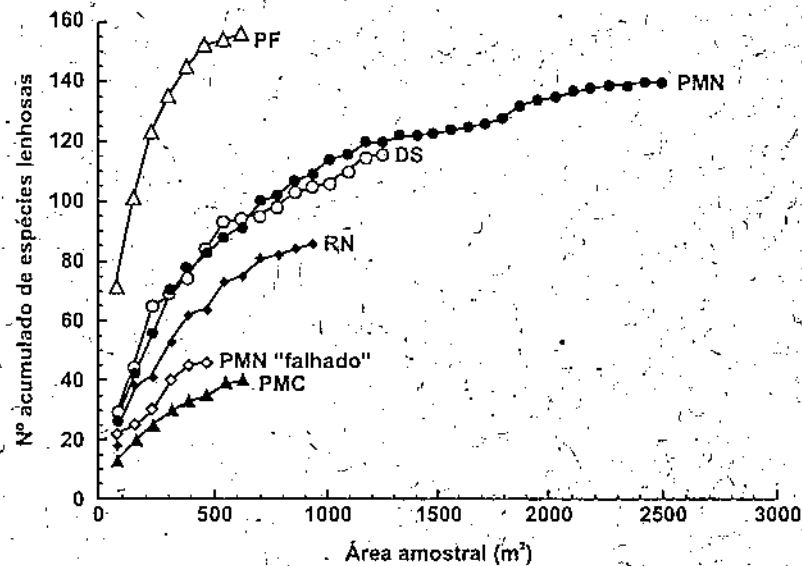


Figura 1.

Relações espécies-área para árvores, arbustos e palmeiras em tratamentos de restauração florestal e na floresta madura (primária). A descrição dos tratamentos é dada no texto. Siglas: FP = floresta primária; PMN = plantio misto com espécies nativas; PMN "falhado" = plantio misto com espécies nativas com reposição insuficiente de solo superficial; PMC = plantio misto com espécies comerciais; SD = semeadura direta; RN = regeneração natural (apenas aplicação de solo superficial).

Descontando as plântulas (indivíduos < 2 m de altura), a riqueza de espécies arbóreas variou consideravelmente entre os tratamentos, e entre os tratamentos para restauração e a floresta madura. As parcelas na floresta madura continham um total de 88 espécies arbóreas com indivíduos > 2 m de altura, enquanto o tratamento com espécies comerciais mistas continha 19 espécies, o de regeneração natural 37, o de semeadura direta 27 e o com espécies nativas mistas 73.

Os tratamentos com espécies nativas mistas, semeadura direta e regeneração natural continham 55-90% do total de número de espécies e 82-97% do total do número de famílias encontradas nas parcelas em floresta madura. Os tratamentos para restauração mostraram um grau de similaridade florística de baixo a moderado quando comparados à floresta madura, conforme medido pelo Índice de Sorensen (1), que variou de 0,16 (no tratamento com espécies comerciais mistas) a 0,50-0,51 (nos tratamentos com semeadura direta e espécies nativas mistas) (Tabela 2). Embora a maioria das famílias encontradas na floresta madura estivessem representadas nos tratamentos de regeneração natural, semeadura direta e espécies nativas mistas, certas famílias importantes, incluindo Annonaceae, Chrysobalanaceae, Lauraceae, Palmae e Sapotaceae, estavam, em geral, mal representadas em todos os tratamentos de restauração, como citado acima.

Essas tendências gerais são sustentadas pela análise das medições de riqueza de espécies feitas nas parcelas (Tabela 2). Os números médios de espécies arbóreas e arbustivas por parcela foram significativamente diferentes entre os tratamentos, e duplicou dos tratamentos de plantio misto de espécies nativas com "falha" e espécies comerciais mistas para o de semeadura direta, com valores intermediários nos tratamentos com regeneração natural e com semeadura direta. Na floresta madura a riqueza média de espécies arbóreas e arbustivas foi 67,3 espécies/parcela, mais que duas vezes aquela do tratamento com semeadura direta. As espécies plantadas compreenderam até 1/3 do total nos tratamentos com espécies comerciais mistas, semeadura direta e com espécies nativas mistas. A riqueza de espécies para plântulas e juvenis (indivíduos < 2 m de altura) foi significativamente diferente entre todos os tratamentos de restauração, variando de uma média de 9,8 espécies/parcela no tratamento com espécies comerciais mistas a 31,6 espécies/parcela no tratamento com semeadura direta. As parcelas em floresta madura tiveram um número significativamente maior de espécies nessa classe de tamanho (média: $59,8 \pm 2,6$ DP espécies/parcela) que em todos os tratamentos para restauração. A riqueza de espécies lenhosas para indivíduos maiores (≥ 2 m de altura) foi

muito similar entre os tratamentos para restauração (faixa das médias: 11,4-14,6 espécies/parcela), mas foi significativamente mais baixa do que na floresta madura (média: $21,5 \pm 1,9$ DP espécies/parcela).

Dominância de espécies arbóreas

Houve marcantes diferenças entre os tratamentos quanto à dominância de espécies arbóreas, medida pela porcentagem da área basal (Tabela 3). No tratamento com regeneração natural, as espécies pioneiras *Cecropia* sp., *Byrsonima* sp., e *Vismia guianensis* (Aubl.) Choisy juntas representaram 50% da área basal total. No tratamento com espécies comerciais mistas, as espécies plantadas *Eucalyptus pellita* F. Muell., *Sclerolobium paniculatum* Vogel e *Acacia mangium* Willd. compreenderam 64% da área basal total. No tratamento com semeadura direta, a espécie dominante foi *Sclerolobium paniculatum* Vogel, com 54% da área basal total. No plantio misto com espécies nativas, 5 espécies: *Croton* sp., *Joannesia princeps* Vell., *Bellucia dichotoma* Cogn., *Parkia gigantocarpa* Ducke e *Byrsonima* sp. corresponderam a 51% da área basal total. Os talhões de floresta primária foram dominados por um conjunto de diferentes espécies, com 75% da área basal total representada por espécies raras ou ausentes das parcelas de restauração, incluindo *Brosimum rubescens* Taub., *Astrocaryum murumuru* Mart. e outras palmeiras, *Endopleura uchi* (Huber) Cuatrec., *Virola* sp., e *Nectandra rosa*, que corresponderam juntas a 57% do total. Entre os tratamentos de restauração, as parcelas de plantio misto com espécies nativas foram as que mais se assemelharam à floresta primária, por apresentarem um padrão de dominância por poucas espécies menos acentuado do que os demais.

Longevidade de espécies arbóreas

Ao categorizar as espécies arbóreas pela sua longevidade média esperada, as diferenças entre tratamentos foram marcantes (Figura 2). Para todos os tratamentos, a proporção de espécies e área basal total decresceu de classes de idade menores para maiores, em contraste à floresta primária, onde espécies de ciclo de vida muito curto (menor que 20 anos) são menos numerosas e dominantes do que espécies de ciclo de vida mais longo (20 a 40 ou 40 a 80 anos). A porcentagem de espécies com longevidade média esperada maior que 40 anos é menor no tratamento de plantio misto com espécies comerciais (23%), intermediária no tratamento de regeneração natural (35%) e maior no de semeadura direta e de plantio misto com espécies nativas (43%). Na floresta

Tabela 3. Distribuição da área basal por espécie em tratamentos de restauração florestal com 9 a 13 anos de idade e floresta primária em mineração de bauxita em Trombetas.

Tratamento	Espécie Arbórea Dominante	Família	%AB	Longevidade (anos)
Regeneração Natural				
	<i>Cecropia</i> sp.	Moraceae	29,6	<20
	<i>Byrsonima</i> sp.	Malpighiaceae	12,6	20-40
	<i>Vismia guianensis</i> (Aubl.) Choisy	Guttiferae	7,7	20
	33 outras espécies			50,1
Plantio Misto com Espécies Comerciais				
	<i>Eucalyptus pellita</i> F. Muell.	Myrtaceae	22,6	20-40
	<i>Sclerolobium paniculatum</i> Vogel	Leguminosae (C)	21,4	<20
	<i>Acacia mangium</i> Willd.	Leguminosae (M)	20,2	<20
	16 outras espécies			35,8
Semeadura Direta				
	<i>Sclerolobium paniculatum</i> Vogel	Leguminosae (C)	53,9	<20
	41 outras espécies		46,1	
Plantio Misto com Espécies Nativas				
	<i>Croton</i> sp.	Euphorbiaceae	12,9	<20
	<i>Joannesia princeps</i> Vell.	Euphorbiaceae	10,8	20-40
	<i>Bellucia dichotoma</i> Cogn.	Melastomataceae	8,7	<20
	<i>Parkia gigantocarpa</i> Ducke	Leguminosae (M)	8,6	40-80
	<i>Byrsonima</i> sp.	Malpighiaceae	8,4	20-40
	66 outras espécies		50,6	
Plantio Misto com Espécies Nativas (com reposição insuficiente de solo superficial)				
	<i>Vismia</i> spp. (3)	Guttiferae	32,1	<20
	<i>Joannesia princeps</i> Vell.	Euphorbiaceae	19,2	20-40
	18 outras espécies		48,7	
Floresta Primária				
	<i>Brosimum rubescens</i> Taub.	Moraceae	14,6	>60
	<i>Astrocaryum murumuru</i> Mart.	Palmae	11,4	20-40
	Unidentified	Palmae	10,6	20-40
	<i>Endopleura uchi</i> (Huber)			
	Quatrec.	Humiriaceae	8,9	40-80
	<i>Virola</i> sp.	Myristicaceae	5,9	40-80
	151 outras espécies		48,9	

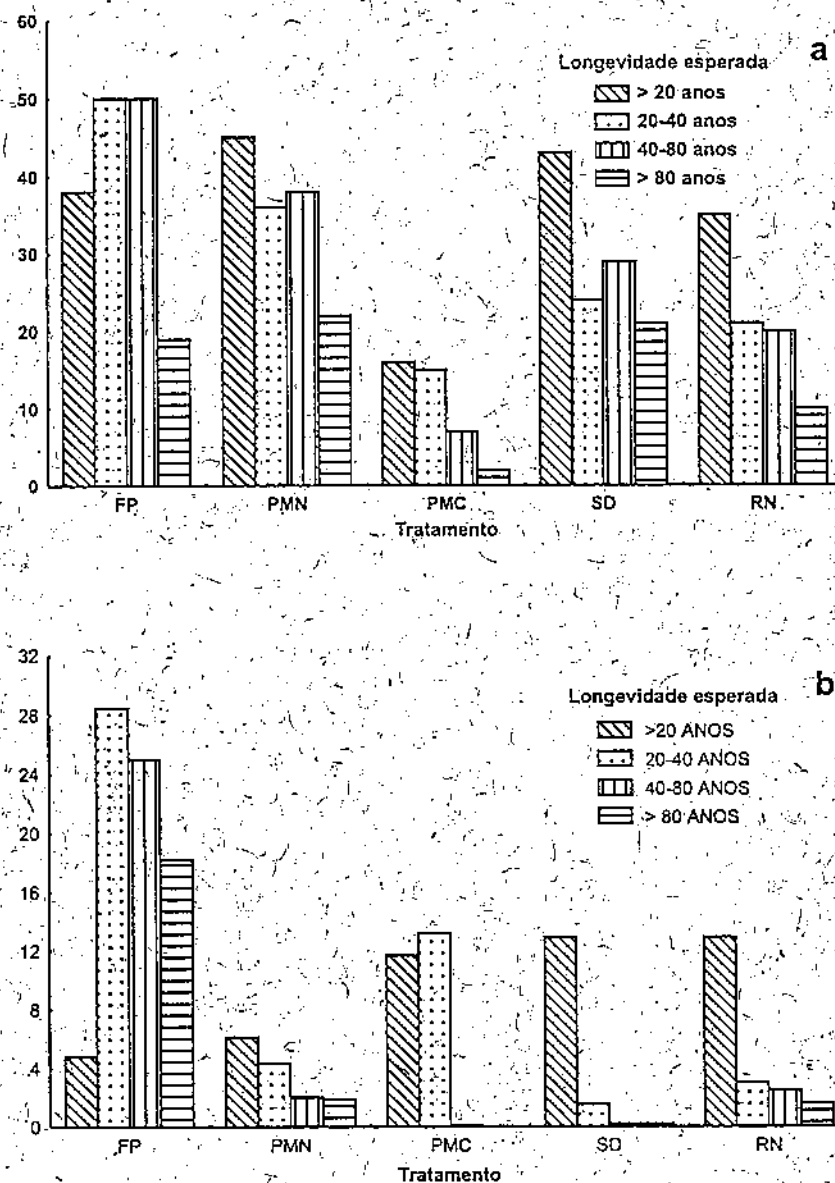


Figura 2. Longevidade esperada de espécies plantadas e regeneradas naturalmente em floresta primária e reforestamentos com 9 a 13 anos de idade na área de mineração de bauxita em Trombetas. (a) número total de espécies arbóreas (b) área basal de caules ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$) para árvores ≥ 2 m de altura. Siglas: FP = floresta primária; PMN = plantio misto com espécies nativas; PMC = plantio misto com espécies comerciais; SD = semeadura direta; RN = regeneração natural (apenas aplicação de solo superficial).

primária, essas espécies corresponderam a 44% do total.

As diferenças entre tratamentos na distribuição de área basal seguiu tendências similares, mas mais pronunciadas. No plantio misto com espécies comerciais, as espécies arbóreas com longevidade esperada maior que 40 anos correspondem a 0,5% da área basal total. O tratamento de semeadura direta também é dominado por espécies de ciclo curto, com 88% da área basal total composta por espécies com longevidade menor que 20%, e uma representação relativamente pobre de espécies com ciclo maior que 40 anos, correspondente a 2,6% da área basal total. O tratamento de regeneração natural foi também dominado por espécies arbóreas de ciclo curto, embora as espécies com longevidade maior que 40 anos contribuíssem significativamente para a área basal total (21%). A distribuição mais equitativa de número de espécies arbóreas e área basal total é encontrada no tratamento de plantio misto com espécies nativas. Nesses talhões, espécies de ciclo muito curto (menor que 20 anos) compõem 45% da área basal total, e espécies longevas (maior que 40 anos), 23%. Na floresta primária, espécies de ciclo muito curto compuseram 6,1% da área basal total, sendo a área basal restante distribuída entre espécies com ciclo de vida entre 20 e 40 anos (37%), 40 a 80 (33%) e maior que 80 anos (24%).

O menor grau de dominância por espécies arbóreas de ciclo curto, particularmente aquelas com longevidade menor que 20 anos no plantio misto com espécies nativas, em relação aos outros tratamentos, sugere que esses talhões estão sob um menor risco de ter a sucessão interrompida num futuro próximo. Em outros locais na área de mineração de Trombetas e em trabalhos de reabilitação de áreas mineradas em outras regiões tropicais, os autores têm observado a senescência e mortalidade prematura de espécies sucessionais precoces e espécies comerciais de ciclo mais curto, como eucalipto e *Acacia mangium* Willd. Sob tais condições, na ausência de um sub-bosque vigoroso composto por espécies nativas longevas, os talhões estão frequentemente sujeitos a uma rápida invasão por gramíneas persistentes e resistentes ao fogo, que retardam ou impedem a sucessão florestal natural (Uhl and Jordon, 1984; Uhl et al., 1988; Nepstad et al., 1991; Parrotta, 1993 e Aide et al., 1995). Este risco parece ser minimizado nas áreas de plantio misto com espécies nativas que predominam na mina de Trombetas. Apesar da produtividade relativamente baixa nesta idade, comparada àquela de outros tratamentos estudados, o método de plantios mistos com espécies nativas adotado pela MRN e outras companhias de mineração nesta região oferece a melhor perspectiva para o sucesso a longo prazo da restauração florestal.

CONCLUSÕES

Com um investimento modesto mas intenso em pesquisa, as empresas de mineração podem desenvolver um sistema efetivo e de menor custo para selecionar e propagar um amplo espectro de espécies arbóreas nativas da floresta tropical, sobre as quais faltam conhecimentos silviculturais, e estabelecer plantações mistas altamente diversificadas em uma escala operacional.

Práticas cuidadosas de preparação da área, particularmente o armazenamento e reaplicação do solo superficial antes do plantio, são essenciais para o estabelecimento da cobertura florestal, eliminação de gramíneas competidoras e aceleração da sucessão natural em áreas de recuperação de lavras de bauxita na Amazônia.

Além do modelo de plantio misto com espécies nativas (a técnica de reflorestamento padrão na mina Trombetas), tratamentos alternativos de plantio e a regeneração natural a partir apenas da aplicação de solo superficial foram considerados efetivos no restabelecimento da cobertura florestal e para facilitar a regeneração natural de um grande número de espécies florestais nativas durante os 9-13 primeiros anos. Entre os tratamentos, a área basal nesta idade variou de 18 a 33% daquela das florestas primárias vizinhas.

Embora as alternativas mais baratas (plantio de espécies comerciais, semeadura direta e regeneração natural com aplicação de solo superficial) tenham sido mais produtivas (maior desenvolvimento da área basal) que o tratamento de plantio misto de nativas, essas tiveram em geral um menor desenvolvimento em termos de diversidade florística. Devido ao grau de dominância relativamente alto por espécies exóticas ou nativas de ciclo curto, e a uma flora menos desenvolvida do sub-bosque, o risco de mortalidade precoce do dossel e subsequente reinvasão por gramíneas altamente competitivas e resistentes ao fogo é potencialmente muito maior nesses talhões do que nos de plantio misto com nativas.

O enriquecimento florístico das áreas de reflorestamento através da regeneração natural de espécies arbóreas colonizadoras (ou seja, aquelas não plantadas nem presentes no banco de sementes do solo) é altamente dependente da fauna dispersora, principalmente morcegos, aves e mamíferos terrestres. O estado de conservação das áreas de floresta primária circundantes e uma efetiva supressão da caça facilitaram muito este processo. Os restauradores devem estar conscientes do papel crítico da fauna no redensolvimento da floresta, encorajar ativamente a conservação da vida silvestre na paisagem circundante

e desenhar modelos de restauração que proporcionarão habitat adequado para uma variedade de espécies alvo da fauna silvestre.

Nos plantios mistos com espécies nativas de 10 anos de idade, a densidade e diversidade de espécies arbóreas primárias que colonizaram os talhões foi significativamente (e positivamente) afetado pela proximidade de fontes de sementes da floresta primária vizinha. Muitas espécies arbóreas de sementes grandes, e outras consideradas componentes importantes das florestas maduras da região, tiveram um pobre desempenho quando plantadas em condições de céu aberto e aparentemente não colonizaram o sítio, devido a limitações na dispersão natural de sementes e/ou mortalidade de sementes ou plântulas quando estas eram dispersas para o local do plantio.

Os resultados de nossos estudos na área de mineração de bauxita na MRN sugerem fortemente que as práticas correntes de reflorestamento poderão ser bem sucedidas na consecução dos objetivos de longo prazo de restauração do complexo ecossistema de floresta de terra firme na Amazônia, destruído pela mineração. Esses resultados contradizem o pressuposto de alguns restauradores, de que ecossistemas florestais de alta diversidade não podem ser estabelecidos com sucesso através de esquemas de plantio de alta diversidade (Dobson et al., 1997).

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi conduzido em cooperação com a Universidade de Porto Rico, e financiado em parte com auxílio do Banco Mundial ao International Institute of Tropical Forestry, USDA Forest Service (Research Support Budget Grant RPO #680-05: "The catalytic effect of tree plantings on the rehabilitation of native forest biodiversity on degraded tropical lands"). Os autores agradecem à Mineração Rio do Norte pela permissão do acesso às áreas de reflorestamento para finalidade de pesquisa e oferecem um agradecimento especial ao Sr. Pedro Ferreira pela seu especial auxílio e assistência na identificação de árvores e plântulas no campo. Finalmente, somos muito gratos a Vera Lex Engel e Luiz Fernando Duarte de Moraes pela sua generosa assistência na preparação das figuras e tradução deste trabalho de sua versão original em inglês.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIDE, T.M.; ZIMMERMAN, J.K.; HERRERA, L.; ROSARIO, M. Forest recovery in abandoned tropical pastures in Puerto Rico. *Forest Ecology and Management*, v.77, p.77-86. 1995.
- BRADSHAW, A.D. The reclamation of derelict land and the ecology of ecosystems. In: JORDAN, W.R.; GILPIN, M.E.; ABER, J.D. (Ed.) *Restoration Ecology: a Synthetic Approach to Ecological Research*. Cambridge: Cambridge University Press, 1987. p. 53-74.
- BRADSHAW, A. Restoration of mined lands using natural processes. *Ecological Engineering*, v.8, p.255-269. 1997.
- DOBSON, A.P.; BRADSHAW, A.D.; BAKER, A.J.M. Hopes for the future: restoration ecology and conservation biology. *Science*, v.277, p.515-522. 1997.
- FERRAZ, J.B.S. Soil factors influencing the reforestation on mining sites in Amazonia. In: LIETH, H.; LOHMANN, M. (Ed.) *Restoration of tropical forest ecosystems*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1993. p.47-52.
- FOX, J.E.D. Rehabilitation of mined lands. *Forestry Abstracts*, v.45, p.565-600. 1984.
- GAUNT, R.J.; BLISS, N.W. Bauxite mine rehabilitation at Trombetas in the Amazon Basin. *Minerals Industry International, IMM Bulletin*, v.1011, p.21-26. 1993.
- GRANT, C.D.; BELL, D.T.; KOCH, J.M.; LONERAGAN, W.A. Implications of seedling emergence to site restoration following bauxite mining in western Australia. *Restoration Ecology*, v.4, p.146-154. 1996.
- KNOWLES, O.H.; PARROTTA, J.A. Amazonian forest restoration: an innovative system for native species selection based on phenological data and performance indices. *Commonwealth Forestry Review*, v.74, p.230-243. 1995.
- KNOWLES, O.H.; PARROTTA, J.A. Phenological observations and tree seed characteristics in an equatorial moist forest at Trombetas, Pará State, Brazil. In: LIETH, H.; SCHWARTZ, M.D. (Ed.) *Phenology in Seasonal Climates I*. Leiden: Backhuys Publishers, 1997. p.67-84.
- MAJER, J.D. Ant recolonisation of rehabilitated bauxite mines of Poços de Caldas, Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, v.8, p.97-108. 1992.
- MAJER, J.D. Ant recolonization of rehabilitated bauxite mines at Trombetas, Pará, Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, v.12, p.257-273. 1996.
- NEPSTAD, D.; UHL, C.; SERRÃO, E.A. Recuperation of a degraded Amazonian landscape: forest recovery and agricultural restoration. *Ambio*, v.20, p.248-255. 1991.
- PARROTTA, J.A. Secondary forest regeneration on degraded tropical lands: the role of plantations as foster ecosystems. In: LIETH, H.; LOHMANN, M. (Ed.) *Restoration of tropical forest ecosystems*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1993. p.63-73.

- PARROTTA, J.A.; KNOWLES, O.H. Restoration of tropical moist forests on bauxite mined lands in the Brazilian Amazon. *Restoration Ecology*, v.7, p.103-116. 1999.
- PARROTTA, J.A.; KNOWLES, O.H.; WUNDERLE JR, J.M. Development of floristic diversity in 10-year-old restoration forests on a bauxite mined site in Amazonia. *Forest Ecology and Management*, v.99, p.21-42. 1997.
- PEDREIRA GONZAGA, L.A., Levantamento da avifauna na área de influência da Mineração Rio do Norte S/A- Porto Trombetas, Pará. Trombetas: Mineração Rio do Norte, 32p. 1991.
- TACEY, W.H. Landscaping and revegetation practices used in rehabilitation after bauxite mining in western Australia. *Reclamation Review*, v.2, p.123-132. 1979.
- TACEY, W.H.; GLOSSOP, B.L. Assessment of topsoil handling techniques for the rehabilitation of sites mined for bauxite within the jarrah forest of western Australia. *Journal of Applied Ecology*, v.17, p.195-201. 1980.
- UHL, C.; JORDAN, C.F. Succession and nutrient dynamics following forest cutting and burning in Amazonia. *Ecology*, v.65, p.1476-1490. 1984.
- UHL, C.; BUSCHBACHER, R.; SERRÃO, E.A.S. Abandoned pastures in eastern Amazonia. I. Patterns of plant succession. *Journal of Ecology*, v.76, p.663-681. 1988.
- WUNDERLE JR., J.M. The role of animal seed dispersal in accelerating native forest regeneration on degraded tropical lands. *Forest Ecology and Management*, v.99, p.223-235. 1997.

