

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA – INPA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM
Programa Integrado de Pós-Graduação em Biologia Tropical e Recursos
Naturais – PIPG BTRN

CRESCIMENTO INICIAL DE ESPÉCIES PIONEIRAS E CLÍMAX EM RESPOSTA A
APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E FORMULAÇÕES DE NPK EM PLANTIOS PARA
RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS NA REGIÃO DO RIO URUCU,
COARI - AM

SHERON TÔRRES DE MACÊDO

Manaus - AM

2008

SHERON TÔRRES DE MACÊDO

CRESCIMENTO INICIAL DE ESPÉCIES PIONEIRAS E CLÍMAX EM RESPOSTA
A APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E FORMULAÇÕES DE NPK EM PLANTIOS PARA
RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS NA REGIÃO DO RIO URUCU,
COARI - AM

Orientadora: Dra. Isolde Dorothea Kossmann Ferraz.

Co-orientador: Dr. Niwton Leal Filho.

Dissertação apresentada ao Programa Integrado de Pós-Graduação do INPA, do convênio INPA/UFAM, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências de Florestas Tropicais.

Manaus - AM

2008

M141 Macedo, Sheron Torres de
Crescimento inicial de espécies pioneiras e clímax em resposta a aplicação de calcário e formulações de NPK em plantios para recuperação de áreas degradadas na região do Rio Urucu/ Sheron Torres de Macedo.---
Manaus : [s.n.], 2008.
59 f. : il.

Dissertação (mestrado)-- INPA/UFAM, Manaus, 2008
Orientador : Isolde D. K. Ferraz
Co-orientador : Niwton Leal Filho
Área de concentração : Ciências de Florestas Tropicais

1. Áreas degradadas – Recuperação – Coari (AM). 2. Calagem. 3. Calcário.
4. Adubos e fertilizantes. 5. Reflorestamento. 6. Solos. 7. Nutrientes. Título.

CDD 19. ed. 634.956

Sinopse:

Estudou-se o efeito de doses de calcário e de dois formulados de adubo NPK sobre a fertilidade do solo, a nutrição mineral do plantio, a sobrevivência e o crescimento de quatro espécies florestais na recuperação de áreas degradadas pela exploração de gás natural e petróleo. O trabalho foi realizado na Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, pertencente à Petrobras, em Coari, Amazonas.

Palavras-chave: Reflorestamento, solos, nutrientes, grupos sucessionais.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por permitir a realização deste sonho, pela proteção e pelo consolo nos momentos difíceis, pois “Se o Senhor não edificar a casa, em vão trabalham os que a edificam; se o Senhor não guardar a cidade, em vão vigia a sentinela.” (Salmo 127:1).

Ao INPA, pela oportunidade de ingresso no Curso Ciências de Florestas Tropicais.

À Rede CT-Petro Amazônia, fonte de recursos, bem como à PETROBRAS/FINEP/CNPq, pelo financiamento do projeto e pela infra-estrutura em Urucu.

À FAPEAM pela concessão da bolsa de estudos.

Aos meus orientadores: Dra. Isolde Ferraz e Dr. Niwton Leal Filho, pela oportunidade e conhecimento transmitido.

Aos profissionais do INPA: Dr. José Francisco, pelo seu empenho e dedicação na coordenação do curso; aos professores, pelas disciplinas ministradas e experiências compartilhadas; aos funcionários e estagiárias das secretarias de pós-graduação e da biblioteca; aos técnicos e bolsistas do Laboratório Temático de Solos e Plantas e aos motoristas pela colaboração.

Aos profissionais de Urucu: do SMS, SG, viveiro e transporte pela boa vontade e suporte ao trabalho de campo.

À banca examinadora pela avaliação do Plano, da Aula de Qualificação e da Dissertação, pelas contribuições e interesse em melhorar a proposta e a apresentação dos resultados.

À minha família: minha mãe, Janice, pelo seu apoio e intercessão em meu favor; minhas irmãs, Ingrid e Gretchen, pelo exemplo e incentivo; meu pai, Wilmar, meu avô, Balbino, e cunhados, Claudemir e Adriano, pelo apoio e carinho; aos meus sobrinhos, Caio César e Getúlio, pela alegria.

Às amigas (Juliana, Gisele, Gracilene, Isabel, Kassya,...), aos colegas de curso (Fabiana, Patrícia,...) e de campo (Ricardo e João), pela cooperação e esforço dispensados.

A todos que me auxiliaram direta ou indiretamente, minha sincera gratidão.

*“Bendito seja o Senhor que, dia a dia, leva o nosso fardo! Deus é a nossa
salvação.” Salmo 68:19*

SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT	vii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	5
2.1 Geral	5
2.2 Específicos	5
3. ARTIGO I - Dinâmica da fertilidade do solo e nutrição vegetal em resposta à calagem e adubação de plantios para recuperação de áreas degradadas na região do rio Urucu, Coari – AM.....	6
3.1 Introdução	6
3.2 Material e Métodos	10
3.3 Resultados e Discussão	15
<i>Fertilidade do solo</i>	15
<i>Nutrição das plantas</i>	21
3.4 Conclusões	28
4. ARTIGO II - Sobrevivência e crescimento de espécies pioneiras e clímax em resposta à calagem e adubação em plantios para recuperação de áreas degradadas na região do rio Urucu, Coari - AM.....	30
4.1 Introdução	30
4.2 Material e Métodos	34
4.3 Resultados e Discussão	38
<i>Sobrevivência</i>	38
<i>Crescimento inicial</i>	42
4.4 Conclusões	49
5. CONCLUSÃO.....	50
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

RESUMO

Na região do rio Urucu, Coari (AM), a PETROBRAS desenvolve a prospecção e produção de gás natural e petróleo. Nestas atividades, áreas florestais são desmatadas para diversas finalidades, em seguida, abandonadas e a recuperação ambiental segue com espécies florestais nativas da região. Geralmente, antes do plantio é feito o preparo do solo que envolve, além da aração e gradagem, a aplicação de 2 t/ha de calcário dolomítico e adubação em cova com 200 g NPK (10-30-10) e 50 g MgSO₄. O objetivo deste trabalho foi procurar alternativas para este método, sem prejudicar o desempenho no plantio de quatro espécies florestais: duas pioneiras (*Bellucia grossularioides* Triana e *Vismia japurensis* Reich.) e duas clímax (*Copaifera multijuga* Hayne e *Virola surinamensis* (Roland) Warb). Em três áreas com cerca de 0,5 ha, foram testadas três doses de calcário (0, 1, e 2 t/ha) e duas formulações de adubação mineral (NPK 10-10-10 e NPK 10-30-10). O plantio foi realizado 90 dias após a aplicação do calcário, num espaçamento de 1 x 1 m entre as plantas, com uma adubação em cova de 200 g de NPK e 50 g de MgSO₄. Um mês após o plantio, foi feito o replantio, para a substituição das plantas mortas, e foram iniciadas as medições de altura, diâmetro e contagem das sobreviventes. As avaliações foram repetidas após cinco e dez meses. Foram coletadas amostras de solo da área (três meses antes e cinco e dez meses após o plantio) e de folhas (antes e dez meses após o plantio) para análise química em laboratório. O pH e o teor de Ca²⁺ não variaram entre as doses de calcário (P>0,15). A maior disponibilidade de Mg²⁺ ocorreu nos tratamentos com calagem (P<0,01). A aplicação de NPK 10-30-10 forneceu quantidade significativamente maior de P no solo do que o NPK 10-10-10 (P<0,01). Apenas *B. grossularioides* teve sua concentração de Ca reduzida no tratamento sem calagem, comparada à dose de 2 t/ha (P=0,02). Quanto às formulações de adubo, apenas *B. grossularioides* apresentou maior teor de P quando plantada sob a aplicação de NPK 10-30-10 (P<0,01). No geral, a sobrevivência nos plantios foi bastante reduzida (média de todas as espécies: 58%). A sobrevivência foi independente dos tratamentos (P>0,30). *C. multijuga* apresentou menor sobrevivência (28%), seguida por *B. grossularioides* (30%), *V. japurensis* (44%) e *V. surinamensis* (50%). O crescimento de três espécies foi independente da calagem e das formulações de NPK utilizados. Ao contrário, *V. surinamensis* apresentou crescimento significativamente maior em altura e diâmetro quando adubada com NPK 10-30-10 (P<0,01). A calagem reduziu significativamente o crescimento relativo em diâmetro de *C. multijuga* na dose de 2t/ha de calcário (P<0,02). Não foram detectadas diferenças em resposta aos tratamentos, comparando as duas espécies de pioneiras com as duas espécies clímax. Aparentemente, neste estágio do desenvolvimento, condições físicas do solo e fatores climáticos foram mais decisivos para sobrevivência e crescimento inicial. A insuficiência de respostas à calagem sugere a possibilidade de utilizar uma dosagem inferior a de 2 t/ha de calcário dolomítico para reduzir os custos na recuperação de áreas com mesmo histórico de uso. Para avaliar o efeito das duas formulações de NPK, há necessidade de um período de observação maior, para verificar se outras adequações podem ser recomendadas.

ABSTRACT

In the region of the Urucu river, Coari (AM), PETROBRAS is in search of and already producing natural gas and petroleum. Due to these activities, forests are cut down for various reasons and are afterwards abandoned. Environmental recovery is done with native forest species of the area. Generally the soil is ploughed through before planting, and apply two tons of dolomitic lime per hectare, each planting hole is then fertilized with 200 g of NPK (10-30-10) and 50 g of $MgSO_4$. The objective of this study was to look for alternatives to this method without affecting the performance of four tree species planted: two pioneers (*Bellucia grossularioides* Triana and *Vismia japurensis* Reich.) and two climax (*Copaifera multijuga* Hayne and *Virola surinamensis* (Roland) Warb). In three sites about 0.5ha, three lime dosages were tested (0, 1, and 2 t/ha) and two compositions of mineral fertilizers (NPK 10-10-10 and NPK 10-30-10). Tree planting, in a spacing of 1 x 1 m, was done 90 days after liming, adding 200 g of NPK and 50 g of $MgSO_4$ in each planting hole. One month after the planting, dead seedlings were substituted and the first measurements were taken of plant height, diameter and number of survivors. The measurements were repeated after five and ten months. Samples of soil of the area were collected (three months before, five and ten months after the planting) and of leaves (before and ten months after the planting) for chemical analysis in laboratory. The pH and the concentration of Ca didn't vary among the lime dosages ($P > 0,15$). Availability of Mg increased with the liming ($P < 0,01$). A significant increase of P was detected in the soils using NPK 10-30-10 in stead of NPK 10-10-10 ($P < 0,01$). With no lime, a reduction in Ca content was detected only in the leaves of *B. grossularioides*, in comparison with 2 t/ha ($P = 0,02$). Comparing the two mineral fertilizers, just *B. grossularioides* showed higher concentrations of P with NPK 10-30-10 ($P < 0,01$). In general survival in the plantations was very low (average of all species: 58%). The survival was independent of the treatments ($P > 0,30$). The lowest survival was assessed to *C. multijuga* (28%), followed by *B. grossularioides* (30%), *V. japurensis* (44%) and *V. Surinamensis* (50%). The growth of three species was not affected by the liming and composition of the two fertilizers. However *V. surinamensis*, showed a significant increase in height and diameter if fertilized with NPK 10-30-10 ($P < 0,01$). And liming (2 t/ha) reduced significantly the relative growth in diameter of *C. multijuga* ($P < 0,02$). There were not general differences in response to the treatments, comparing the two pioneer with the two climax species. Apparently, at this stage of development physical conditions of the soil and climatic factors were more decisive for survival and initial growth than fertilizing and liming. The lack of evidence for the benefits of liming, may offer the possibility to reduce the costs by using a lower concentration than 2 t/ha of lime in recovering degraded areas with the same historic use. A longer period of observation is needed before any further recommendation on the two compositions of mineral fertilizations on plant growth.

1. INTRODUÇÃO

Todos os ecossistemas estão sujeitos, em maior ou menor escala, a perturbações naturais que, dependendo da intensidade, e do nível de resiliência do sistema, podem retornar às condições anteriores ao distúrbio (Ferraz & Suzuki, 1998). Atividades humanas também têm provocado perturbações de grande escala nos ambientes naturais, colocando sob ameaça os ecossistemas e a biodiversidade a eles relacionadas. Os impactos do desmatamento, exploração madeireira, queimadas, construção de represas hidrelétricas, super-exploração de recursos pesqueiros e poluição por óleo e mercúrio sobre os ecossistemas terrestres e aquáticos causam a perda da capacidade produtiva dos ecossistemas, redução da biodiversidade e mudanças climáticas, tais como a redução da precipitação devido à perda de evapotranspiração da floresta e mudanças nos valores médios de temperatura que, conseqüentemente, afetam negativamente a vida humana (Fearnside, 2003). Quando tais alterações impedem ou reduzem drasticamente a capacidade de um determinado ecossistema retornar ao seu estado anterior, através de meios naturais, esse ambiente é considerado degradado (Reis *et al.*, 1999).

Os impactos causados ao meio ambiente podem ser minimizados com a recuperação dessas áreas. Na recuperação procura-se retornar uma porção degradada da paisagem a uma condição o mais próximo possível da formação original, em ambos os aspectos, estrutural e funcional do ecossistema, de modo a permitir que a comunidade em foco evolua e nela passe a acontecer a sucessão natural (Crestana *et al.*, 2004). Assim, a restauração funcional e estrutural da floresta enriquece o solo, aumenta a biodiversidade e reduz drasticamente o assoreamento dos rios (Furtini Neto *et al.*, 2000). O reflorestamento é uma das principais medidas adotadas na recuperação de áreas. Esta medida inclui a geração de condições propícias ao repovoamento da fauna e a regeneração do ecossistema, através do plantio de espécies adequadas para cada situação, protegendo o solo dos danos causados pela exposição às intempéries (Bitar, 1997; Souza *et al.*, 2001).

Para que haja condições de estabelecimento da vegetação em uma área degradada, são ainda necessárias operações de preparo do solo, bem como

medidas para o controle de processos físicos que atuam na degradação do solo (Bitar, 1997), que variam conforme o caso. O preparo do solo envolve basicamente a movimentação de terras, através de escarificação, aração e gradagem, que visam modificar a superfície do solo. A escarificação é utilizada para quebrar a camada densa superior do solo, formando rugosidade superficial. A aração mecanizada, com o uso de arado de discos, consiste no corte e picagem da vegetação de superfície, caso exista, incorporando-a ao solo a uma profundidade que varia de 15 a 25 cm. A gradagem pode ser usada depois da aração para pulverizar os torrões, eliminar os bolsões de ar que geralmente ficam na parte inferior do solo revirado pelo arado e para incorporar calcário (Saad, 1989).

O preparo do solo objetiva melhorar as propriedades físicas e a fertilidade do solo, melhorando sua capacidade de infiltração de água ou sua drenagem, rompendo camadas impermeáveis ao longo do perfil do solo, reduzindo a densidade do solo e a resistência à penetração das raízes, aumentando a aeração e restaurando a porosidade em solos compactados e aumentando a taxa de mineralização da matéria orgânica (Faria, 1996; Botelho & Davide, 2002).

As medidas para controle da degradação do solo envolvem a terraplenagem, a construção de canais de drenagem e sistemas de retenção de sedimentos, cujo objetivo principal é a interceptação do escoamento superficial das águas pluviais e o controle da erosão (Ferreira, 1992).

A maioria dos solos em áreas degradadas apresenta fertilidade natural muito baixa, que pode ser expressa em baixo teor de fósforo disponível, em baixa capacidade de troca de cátions e baixo pH (Furtini Neto *et al.*, 2000). O pH influi na disponibilidade e na absorção dos elementos nutritivos pelos vegetais e a acidez do solo, em determinados níveis, torna-se prejudicial às plantas. O fósforo é absorvido pelos vegetais em maior quantidade na faixa de pH 6,5-7,5; o nitrogênio é absorvido em maior intensidade pela maioria das plantas quando o pH se situa entre 6 e 8; o potássio, o enxofre, cálcio e magnésio são absorvidos com maior facilidade quando o pH está em torno de 6-8 (Ferreira, 1992). Abaixo de pH 3 e acima de pH 9, o protoplasma celular das raízes é severamente afetado e as crescentes concentrações de Al^{3+} em solos muito ácidos e de boratos em solos alcalinos causam toxidez às raízes das plantas (Larcher, 2006).

Para corrigir a deficiência em nutrientes e a acidez do solo, tem-se aplicado mais comumente a adubação mineral e a calagem. A calagem consiste na

incorporação de calcário para neutralizar a acidez do solo, ou seja, elevar o pH até que este alcance o nível ideal para o desenvolvimento normal das plantas (Osaki, 1991). A adubação mineral visa aumentar a disponibilidade de nutrientes no solo necessários para o crescimento vegetal.

Na província petrolífera de Urucu, município de Coari, Amazonas, a empresa PETROBRAS tem realizado atividades de prospecção e produção de gás natural e petróleo. Para tal, são feitas clareiras no interior da floresta para a abertura de estradas de acesso, para a perfuração dos poços e para retirada de grandes quantidades de solo a ser utilizado na construção e manutenção das estradas de circulação local. Outras áreas são desmatadas apenas para servirem de depósito de materiais (areia, seixo, materiais e resíduos de construção) por determinado período de tempo. Após o uso e abandono das áreas é feita a recuperação através do preparo da área e reflorestamento com espécies nativas da região. Isto, porque nestes locais os processos de regeneração natural são dificultados, devido à remoção da camada superficial do solo, remoção do banco de sementes, compactação do solo, diminuição da capacidade de retenção de água e perda de nutrientes do sistema. O processo de recuperação de áreas degradadas em Urucu envolve a terraplenagem, o preparo do solo para o plantio através de aração e gradagem, a correção da acidez do solo com a aplicação de calcário dolomítico (2 toneladas/ha) e o aumento da fertilidade pela adubação nas covas das espécies plantadas, utilizando-se uma mistura de NPK 10-30-10 (200 g/cova) e sulfato de magnésio (50 g/cova).

No entanto, o adubo NPK 10-30-10 não é comercializado em Manaus e sua aquisição no Centro-Sul do país o torna um produto de alto custo, ao contrário da formulação NPK10-10-10 que é facilmente encontrada no mercado local. O alto custo no preparo e fertilização do solo nem sempre se reflete em sucesso nos reflorestamentos, apesar das posteriores operações de manutenção do plantio. Isto se deve a possibilidade das espécies utilizadas não responderem da forma esperada à aplicação de calcário e adubo para o seu desenvolvimento. Diante disto, o êxito de projetos de reflorestamentos heterogêneos em áreas degradadas depende do conhecimento da auto-ecologia e do comportamento silvicultural das espécies, principalmente quanto a sua capacidade de superar as condições adversas do solo.

As espécies vegetais podem ser divididas em dois grupos funcionais ou sucessionais, de acordo com o nicho de regeneração. As denominadas *pioneiras*

requerem intensa radiação solar para seu estabelecimento e crescimento. Ao contrário destas, as *clímax*, são aquelas cujas sementes germinam sob o dossel florestal e suas plântulas se estabelecem e crescem em ambientes sombreados ou não (Swaine & Whitmore, 1988). As espécies dos estádios sucessionais iniciais, como as pioneiras, parecem apresentar maior capacidade de absorção de nutrientes, em relação àquelas dos estádios sucessionais subseqüentes, como as *clímax* (Furtini Neto *et al.*, 2000). Entretanto, as espécies florestais da Amazônia Central, estão evolutivamente adaptadas, em geral, aos solos ácidos e pobres em nutrientes (Sanchez *et al.*, 1982; Schubart *et al.*, 1984).

Considerando os investimentos em adubação e correção do solo, torna-se de grande importância avaliar o efeito da dosagem de calcário e fertilizantes sobre o crescimento inicial de espécies florestais, a fim de ampliar o conhecimento silvicultural e verificar se há alternativas para a redução do custo com o mesmo ou melhor desempenho dos plantios na recuperação de áreas degradadas na Amazônia.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar o efeito de diferentes doses de calcário e formulações de adubo NPK sobre crescimento inicial em campo de duas espécies pioneiras e duas clímax plantadas sobre áreas degradadas na Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari, Amazonas.

2.2 Específicos

- Comparar o efeito de três doses de calcário dolomítico (0 t/ha; 1 t/ha; 2 t/ha) e duas formulações de adubo NPK (10-30-10 e 10-10-10) sobre a fertilidade do solo;
- Avaliar o efeito das três doses de calcário dolomítico e duas formulações de NPK sobre o estado nutricional, sobrevivência e crescimento inicial de quatro espécies florestais, pertencentes a dois grupos sucessionais;
- Avaliar a existência de respostas diferenciadas entre as espécies (*Bellucia grossularioides* Triana, *Vismia japurensis* Reich., *Copaifera multijuga* Hayne e *Virola surinamensis* (Roland) Warb) em relação às doses de calcário e formulações de NPK;
- Comparar as respostas dos grupos sucessionais (pioneiras e clímax) em relação às doses de calcário e formulações de NPK.

3. ARTIGO I - Dinâmica da fertilidade do solo e nutrição vegetal em resposta à calagem e adubação de plantios para recuperação de áreas degradadas na região do rio Urucu, Coari – AM.

(Normas da Revista Acta Amazonica)

3.1 Introdução

Cerca de 75% da Bacia Amazônica é dominada por solos ácidos, com baixa fertilidade natural, profundos e bem-drenados (Sanchez *et al.*, 1982), representados principalmente pelos Latossolos e Argissolos, no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Rodrigues, 1996; Embrapa, 1999). Além disso, 90% dos solos apresentam deficiência de fósforo, 73% são afetados por toxidez de alumínio, 56% têm baixa reserva de potássio e, cerca de 15% dos solos da Amazônia têm baixa capacidade de troca catiônica (CTC), que indica a presença de poucas cargas negativas no solo, capazes de reter cátions de nutrientes como cálcio, magnésio e potássio (Sanchez *et al.*, 1982; Demattê, 2000).

Nos solos ácidos, há um excesso de íons de alumínio (Al), ferro (Fe) e manganês (Mn), enquanto o cálcio (Ca), o magnésio (Mg), o potássio (K), o fósforo (P) e o molibdênio (Mo) são perdidos por lixiviação ou ocorrem em forma insolúvel, difícil de ser absorvida pela planta (Larcher, 2006).

Para neutralizar a acidez do solo e disponibilizar os nutrientes para as plantas, tem-se aplicado mais comumente a calagem e a adubação mineral. Os

principais benefícios da calagem são: a neutralização da toxidez do alumínio e manganês; o fornecimento de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) como nutrientes para as plantas; o aumento da disponibilidade dos macronutrientes para as plantas; a manutenção de nutrientes disponíveis aplicados no solo (Azambuja, 1996; Silva, 1997). No entanto, a elevação do pH acima do nível de neutralidade favorece a insolubilidade do fósforo e de micronutrientes e intensifica a lixiviação dos sulfatos (SO_4^{-2}), também necessários às plantas (Osaki, 1991). Além disso, a calagem excessiva pode afetar a taxa de infiltração e permeabilidade dos solos, devido à criação de cargas negativas, que mantém os colóides mais afastados ou dispersos, aumentando a suscetibilidade à erosão (Primavesi, 1981; Prado, 2003; Albuquerque *et al.*, 2003).

Nas plantas, o cálcio (Ca^{2+}) tem tanto função reguladora como estrutural. Este elemento está envolvido na regulação da permeabilidade da membrana celular, na composição da parede celular, em atividades enzimáticas, na regulação do crescimento em extensão (Marenco & Lopes, 2005; Larcher, 2006). Já o magnésio (Mg^{2+}) é um constituinte da clorofila e das proteínas, bem como de cofatores enzimáticos, estabiliza a estrutura dos cloroplastos e está envolvido na síntese do ácido nucléico (Marenco & Lopes, 2005; Larcher, 2006).

Além do cálcio e do magnésio, os principais elementos nutritivos da planta, que podem ser disponibilizados no solo através da calagem e da adubação, são o nitrogênio (N), o fósforo (P) e o potássio (K). O nitrogênio (NO_3^- ou NH_4^+) é um componente de aminoácidos, proteínas, nucleotídeos,

ácidos nucléicos, clorofilas e enzimas na planta (Marenco & Lopes, 2005; Larcher, 2006). O fósforo (H_2PO_4^- ou HPO_4^{2-}) está envolvido no metabolismo basal e síntese das plantas, fazendo parte de compostos fosfatados que armazenam energia na forma de ATP e ADP (adenosina trifosfato e adenosina difosfato, respectivamente), ácidos nucléicos, várias coenzimas essenciais e fosfolípídeos. Além disso, permite o crescimento das raízes, da inflorescência e das sementes, favorece o processo de lignificação e é importante para a atividade da microflora e microfauna do solo (Marenco & Lopes, 2005; Larcher, 2006). O potássio é, principalmente, um regulador osmótico necessário à atividade enzimática e à síntese protéica (Marenco & Lopes, 2005; Larcher, 2006).

As respostas das espécies à fertilização e à calagem podem ser associadas ao grupo ecológico ou sucessional ao qual pertencem. A maioria dos trabalhos realizados mostra que pioneiras respondem positivamente à adição de nutrientes ao solo, enquanto que espécies clímax são indiferentes (Dias *et al.*, 1991; Burslem *et al.*, 1995; Furtini Neto *et al.*, 1999b; Resende *et al.*, 1999).

No processo de sucessão vegetal, durante a regeneração da floresta, as *pioneiras* podem colonizar rapidamente as grandes clareiras, por estarem adaptadas às condições de competição reduzida, possuindo assim, sementes que germinam e plântulas que se estabelecem e desenvolvem rapidamente sob intensa radiação solar, apresentando rápido crescimento nestas condições (Swaine & Whitmore, 1988). As *climácicas*, podem colonizar o sub-bosque da floresta, pois suas sementes são capazes de germinar sob a sombra do dossel

florestal e suas plântulas, de um modo geral, podem se estabelecer, sobreviver e crescer neste ambiente (Swaine & Whitmore, 1988).

Para acelerar o processo de sucessão secundária em áreas degradadas, que naturalmente aconteceria de forma muito lenta, quando o impacto de uma atividade humana é muito intenso, é recomendável o plantio inicial de espécies arbóreas de rápido crescimento.

Na província petrolífera de Urucu, município de Coari, Amazonas, a empresa PETROBRAS desenvolve a prospecção e produção de gás natural e petróleo. Para tal, são abertas clareiras no interior da floresta. Após o uso das áreas e seu abandono, é feita a recuperação ambiental através do preparo do solo e reflorestamento com espécies nativas da região. O preparo do solo envolve, dentre outras práticas, a calagem, com a aplicação de 2 t/ha de calcário dolomítico, e a adubação mineral em cova com 200 g de NPK 10-30-10 e 50 g de sulfato de magnésio. No entanto, o adubo NPK 10-30-10 não é comercializado comumente em Manaus e sua aquisição no Centro-Sul do país o torna um produto de alto custo, ao contrário da formulação NPK10-10-10 que é facilmente encontrada no mercado local a um custo menor.

Diante da possibilidade das espécies não responderem de forma homogênea à calagem e adubação para o seu desenvolvimento inicial, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de diferentes doses de calcário e de formulações de adubo NPK sobre a fertilidade do solo e sobre a absorção de nutrientes de duas espécies pioneiras e duas clímax plantadas sobre áreas degradadas na região de Urucu, Coari, Amazonas, visando identificar alternativas para otimizar os custos na recuperação destas áreas degradadas.

3.2 Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido no município de Coari, Estado do Amazonas, a 650 km a oeste de Manaus, na Base de Operação Geólogo Pedro de Moura (4°51'04"S e 65°17'52"O), Província Petrolífera de Urucu, pertencente à PETROBRAS, onde se desenvolvem atividades de exploração de gás natural e petróleo.

Na região predominam os Argissolos Vermelho-Amarelos, de textura média, ácidos, argilosos e de consistência dura, que ocorrem em relevo suave e ondulado (Ministério das Minas e Energia, 1978; IBGE, 2005). O clima apresenta uma estação seca de junho a novembro e uma estação chuvosa de dezembro a maio. A média anual de precipitação é de 2.239,0 mm, com 66,1% da precipitação distribuída na estação chuvosa e 33,9% na estação seca. As temperaturas médias mensais oscilam entre 25,2 °C e 26,2 °C. O balanço hídrico mostra que em Urucu há maior disponibilidade de água durante o ano do que deficiência. Com base na classificação climática de Thornthwaite & Matter (1955), a região de Urucu possui clima do tipo **B₄ r A' a'**, que significa clima úmido, megatérmico, com pequena deficiência de água no período seco (Ribeiro, 2008). A vegetação é composta por Floresta Densa de terra-firme, cujas famílias mais representativas são Lecythidaceae, Sapotaceae, Chrysobalanaceae, Myristicaceae e Moraceae (Lima Filho *et al.*, 2001).

Foram utilizadas três áreas degradadas, com aproximadamente 0,5 ha: duas jazidas de argila (56 e 58), que sofreram a remoção da cobertura

superficial e uso da camada subsuperficial do solo para a construção e manutenção de estradas e que, posteriormente tornaram-se áreas de “bota-fora”, onde foram despejados resíduos de construção; além de uma clareira (Clareira 4), aberta para construção de alojamento, onde ocorreu apenas a retirada da cobertura vegetal.

A jazida 56 (4°45,977'S; 65°02,659'O) situa-se no km 51 da estrada de acesso ao Porto Evandro, sem registro da data de abertura, caracteriza-se pela ocorrência de leguminosas arbustivas e gramíneas, solo com resíduos de seixo, areia e asfalto e topografia irregular, com declividade do terreno de aproximadamente 2%, na parte mais alta onde foi instalado o experimento. A jazida 58 (4°51,220'S; 65°04,157'O), localizada no km 38,5 da mesma estrada, foi aberta no final de 1998 e também apresenta resíduos de entulhos (asfalto e concreto) provenientes da construção de estradas, com declives (cerca de 3%) e vegetação rasteira com gramíneas. Esta área foi reflorestada sem sucesso em 1999 com 1000 mudas de nove espécies florestais. A clareira 4 (4°52,753'S; 65°20,200'O), situada próximo ao aeroporto, não tem registro da data de abertura, mas trata-se de uma área antiga criada para acampamento de uma construtora, com campo de futebol abandonado, coberta por capim quicuío (*Brachiaria humidicola* (Rend.) Scheich), sobre terreno plano, com solo de textura variável.

Em cada área foram estabelecidas três parcelas de 10 x 30 m, com a maior dimensão acompanhando o sentido da declividade do terreno. As parcelas foram divididas em seis subparcelas de 5 x 10 m (Figura 1). Cada parcela correspondeu a um tratamento de calagem: 0 t/ha; 1 t/ha; 2 t/ha de

calcário dolomítico (CaO 32%; MgO 13%; PRNT 95%). A aplicação do calcário foi feita a lanço e sua incorporação ao solo através de trator com grade aradora, em outubro de 2006. O plantio foi realizado em janeiro de 2007, 90 dias após o preparo das áreas, com a abertura das covas de 40 x 40 cm (diâmetro x profundidade), num espaçamento de 1,0 m entre as covas, usando perfurador de solo com broca helicoidal, seguida pela adubação em cova com 200 g de NPK e 50 g de sulfato de magnésio, antes do plantio. Em cada tratamento de calagem foram testadas duas formulações de adubação química em cova: NPK (10-10-10) e NPK (10-30-10), na forma de N total, pentóxido de fósforo e óxido de potássio, em mistura de grânulos. As formulações foram aplicadas alternadamente por subparcela, somando três repetições para cada formulação de adubo NPK, em cada parcela. Cada subparcela foi composta de 50 plantas (aproximadamente 12 plantas de cada espécie).

Para reduzir possível competição intra-específica, foram plantadas alternadamente uma espécie pioneira e uma clímax e assim sucessivamente, de modo que uma espécie clímax sempre ficou cercada por pioneiras e vice-versa (Figura 1).

As espécies pioneiras utilizadas foram a goiaba-de-anta (*Bellucia grossularioides* Triana) e o lacre (*Vismia japurensis* Reich.) e como espécies clímax a copaíba (*Copaifera multijuga* Hayne) e a ucuúba (*Virola surinamensis* (Roland) Warb). As mudas, provenientes do viveiro localizado em Urucu, tinham como substrato terriço de floresta adubado com NPK 10-30-10 e apresentavam bom estado fitossanitário, idade e altura semelhantes (16-40 cm).

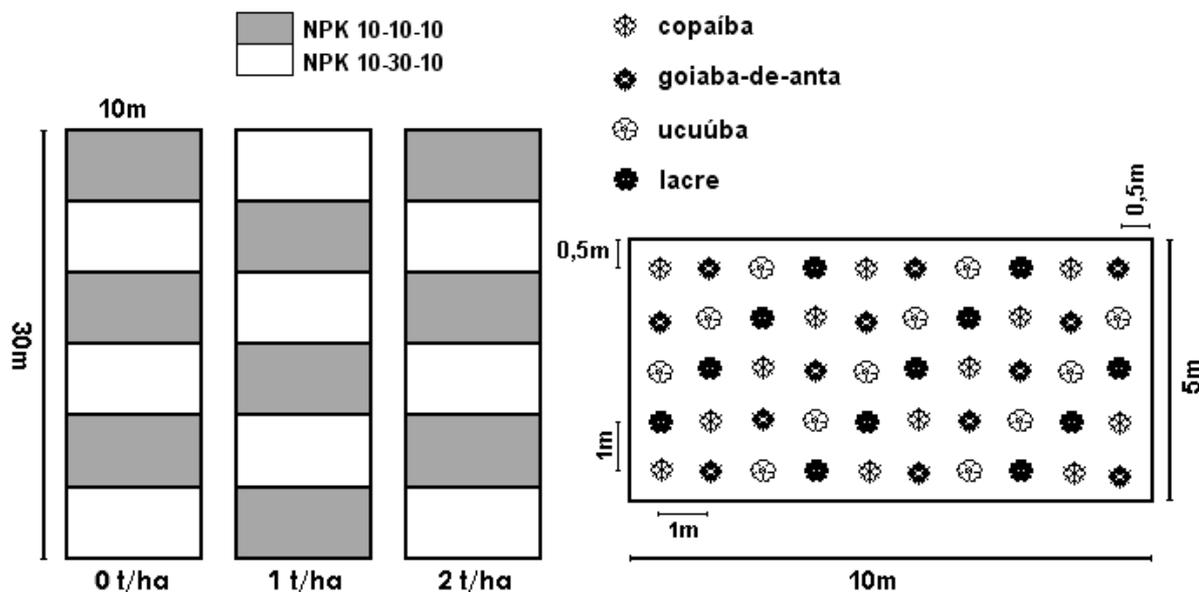


Figura 1 – Esquema das parcelas (tratamentos de calagem), subparcelas (repetições de cada formulação de NPK) e disposição das plantas em cada área selecionada.

Um mês após o plantio, as plantas mortas foram substituídas pelo plantio de novos indivíduos. Para a redução da vegetação invasora oportunista, principalmente gramíneas e herbáceas, que se estabelecia após o plantio, foi realizada a roçagem nas entrelinhas um, três e oito meses após o plantio.

Para caracterizar a fertilidade dos solos, antes da aplicação dos tratamentos, foram coletadas, aleatoriamente em cada parcela, cinco amostras simples de solo, da camada superficial de 0-10 cm de profundidade. Para verificar o efeito da calagem e da adubação sobre a fertilidade e a acidez dos solos, foram coletadas cinco amostras simples de solo por tratamento de adubação, em cada parcela, na profundidade de 0-10 cm, na área da cova (raio de até 10 cm de distância do caule das plantas), um e nove meses após o plantio.

O solo coletado foi colocado em sacos plásticos identificados de acordo com a área e com o tratamento. As amostras foram secas ao ar, destorroadas e, em seguida, passadas em peneira de 2,0 mm de malha e levadas ao Laboratório Temático de Solos e Plantas do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), para análise em relação aos macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg), carbono e pH em água na proporção 1:2,5 (solo:água) (Silva, 1999). O carbono foi transformado em matéria orgânica por meio da multiplicação pelo fator 1,724 (Silva, 1999).

Para caracterizar o estado nutricional de cada espécie sem o efeito dos tratamentos, foram coletadas amostras de folhas de mudas do viveiro florestal. Nove meses após o plantio, foram coletadas 10-12 folhas completamente expandidas, de idade e aparência similares, de cada espécie, por tratamento, para caracterizar o estado nutricional sob efeito da calagem e da adubação.

As amostras foliares foram acondicionadas em sacos de papel, identificadas e submetidas à secagem em estufa com ventilação forçada, com temperatura constante de 65°C por 96 horas. Após a secagem, as amostras foram moídas para análise química no Laboratório Temático de Solos e Plantas do INPA, onde foi feita a determinação dos teores de macronutrientes (N, P, K, Mg e Ca) no tecido vegetal (Silva, 1999).

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com três repetições (áreas degradadas), em esquema fatorial 3 x 2, sendo composto dos seguintes fatores: três doses de calcário (0, 1, 2 t/ha); e duas formulações de adubação química (NPK 10-30-10 e NPK 10-10-10), para cada espécie. Comparações entre as quatro espécies e entre os dois grupos sucessionais

foram feitas adicionando essas características como fatores no esquema. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) em esquema fatorial, com a comparação das médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa Systat (versão 10.0).

3.3 Resultados e Discussão

Fertilidade do solo

Os valores médios de pH e teores de nutrientes iniciais no solo variaram entre as áreas degradadas utilizadas (Tabela 1). As jazidas 56 e 58 apresentaram pH e teor de Ca^{2+} iniciais significativamente mais elevados que a Clareira 4 ($P=0,00$). Já os teores de carbono, nitrogênio, fósforo, potássio no solo foram mais elevados na clareira do que nas jazidas. Quanto ao magnésio, a Jazida 58 apresentou os teores mais elevados, em seguida a Jazida 56 e a Clareira 4, com os menores valores.

Tabela 1 – Características químicas (médias \pm desvio-padrão) do solo antes da instalação do experimento, em três áreas degradadas por atividade petrolífera da Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari, Amazonas.

	Jazida 56	Jazida 58	Clareira 04
pH (H_2O)	5,92 \pm 0,67	6,24 \pm 0,98	5,10 \pm 0,18
Matéria Orgânica (g/kg) ¹	7,57 \pm 1,40	7,70 \pm 2,60	11,93 \pm 7,07
N (g/kg) ²	0,45 \pm 0,13	0,41 \pm 0,07	0,39 \pm 0,12
P (mg/kg) ³	0,50 \pm 0,50	0,43 \pm 0,33	0,34 \pm 0,17
K^+ (mg/kg) ³	21,33 \pm 8,80	26,20 \pm 10,02	22,00 \pm 13,58
Ca^{2+} (cmol _c /kg) ⁴	4,43 \pm 2,89	6,44 \pm 3,71	1,14 \pm 1,06
Mg^{2+} (cmol _c /kg) ⁴	0,13 \pm 0,07	0,21 \pm 0,13	0,05 \pm 0,03

Métodos: ¹Walkley & Black; ²Kjeldahl; ³Mehlich 1; ⁴KCl 1 N.

O pH e a concentração inicial de Ca^{2+} no solo foram bastante elevados (Tabela 1). O pH do solo variou de acidez média a neutralidade (Tomé Jr., 1997). O pH também é considerado alto em comparação com os solos sob floresta primária de terra-firme da região, cujo valor fica em torno de 4,0 (Moreira *et al.*, 2006; Ribeiro *et al.*, 2006). Conforme observado em outros experimentos (Falcão *et al.*, 2004; Santos Junior *et al.*, 2006), o pH e Ca^{2+} elevados são provavelmente consequência da deposição, nas jazidas, de resíduos de solo com cal virgem utilizada na construção das estradas; mistura que é freqüentemente feita nas próprias áreas de jazidas (atualmente feita em local apropriado, denominado usina de solo). Ribeiro *et al.* (2006), ao compararem os nutrientes do solo de uma jazida reflorestada com os solos sob florestas, observaram valores mais elevados de pH e nutrientes na jazida que nos solos florestais, atribuindo tais resultados ao efeito da calagem antes do plantio e da adubação inicial e de manutenção.

Quatro meses após a calagem (Tabela 2), os valores de pH e Ca^{2+} mantiveram-se semelhantes aos iniciais, para as três doses testadas. Para os demais nutrientes, a adubação aumentou a disponibilidade dos elementos no solo. Neste período, um mês após a adubação, já foi possível observar o efeito positivo da calagem nos teores de Mg^{2+} e do NPK 10-30-10 na maior concentração de P.

Tabela 2 – Efeito de doses de calcário (0 t/ha, 1 t/ha, 2 t/ha) e formulações de adubo (NPK 10-10-10; NPK 10-30-10) sobre o pH, matéria orgânica e teores de

macronutrientes de solos degradados por atividade petrolífera, da Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari (Amazonas), um e oito meses após o plantio (médias \pm desvio-padrão).

FEVEREIRO /2007				
		0 t/ha	1 t/ha	2 t/ha
pH (H₂O)	NPK 10-10-10	5,52 \pm 1,08 Aa	5,81 \pm 1,16 Aa	5,85 \pm 1,17 Aa
	NPK 10-30-10	5,63 \pm 1,08 Aa	5,74 \pm 1,02 Aa	5,34 \pm 0,88 Aa
Matéria orgânica (g/kg)	NPK 10-10-10	8,64 \pm 4,55 Aa	7,26 \pm 2,23 Aa	8,10 \pm 3,35 Aa
	NPK 10-30-10	8,10 \pm 3,35 Aa	9,44 \pm 4,42 Aa	8,73 \pm 6,01 Aa
N (g/kg)	NPK 10-10-10	0,50 \pm 0,23 Aa	0,46 \pm 0,11 Aa	0,50 \pm 0,18 Aa
	NPK 10-30-10	0,48 \pm 0,18 Aa	0,59 \pm 0,21 Aa	0,56 \pm 0,31 Aa
P (mg/kg)	NPK 10-10-10	27,48 \pm 27,18 Aa	46,79 \pm 51,08 Aa	34,36 \pm 26,25 Aa
	NPK 10-30-10	87,35 \pm 89,52 Ab	142,57 \pm 209,68 Ab	174,59 \pm 258,61 Ab
K⁺ (mg/kg)	NPK 10-10-10	79,33 \pm 67,33 Aa	78,77 \pm 67,54 Aa	85,34 \pm 88,59 Aa
	NPK 10-30-10	70,13 \pm 41,10 Aa	96,03 \pm 118,64 Ab	93,07 \pm 108,63 Ab
Ca²⁺ (cmol_c/kg)	NPK 10-10-10	3,96 \pm 2,90 Aa	5,00 \pm 3,16 Aa	4,65 \pm 2,60 Aa
	NPK 10-30-10	4,16 \pm 3,04 Aa	5,02 \pm 2,69 Aa	3,97 \pm 1,91 Aa
Mg²⁺ (cmol_c/kg)	NPK 10-10-10	0,52 \pm 0,25 Aa	0,68 \pm 0,33 Ba	0,65 \pm 0,39 Ba
	NPK 10-30-10	0,50 \pm 0,17 Aa	0,91 \pm 0,40Ba	0,76 \pm 0,38 Ba
OUTUBRO/ 2007				
		0 t/ha	1 t/ha	2 t/ha
pH (H₂O)	NPK 10-10-10	5,91 \pm 1,09 Aa	6,21 \pm 1,20 Aa	6,12 \pm 0,97 Aa
	NPK 10-30-10	5,88 \pm 1,19 Aa	6,58 \pm 1,00 Aa	5,81 \pm 0,99 Aa
Matéria orgânica (g/kg)	NPK 10-10-10	10,95 \pm 4,03 Aa	11,04 \pm 4,51 Aa	11,62 \pm 3,55 Aa
	NPK 10-30-10	12,51 \pm 4,79 Aa	13,31 \pm 6,61 Aa	11,26 \pm 3,15 Aa
N (g/kg)	NPK 10-10-10	0,42 \pm 0,14 Aa	0,46 \pm 0,12 Aa	0,47 \pm 0,15 Aa
	NPK 10-30-10	0,46 \pm 0,20 Aa	0,55 \pm 0,33 Aa	0,48 \pm 0,12 Aa
P (mg/kg)	NPK 10-10-10	18,06 \pm 19,60 Aa	56,04 \pm 67,60 Ba	44,38 \pm 45,84 ABa
	NPK 10-30-10	78,35 \pm 67,87 Ab	161,21 \pm 133,87 Bb	89,31 \pm 75,92 ABb
K⁺ (mg/kg)	NPK 10-10-10	44,13 \pm 26,68 Aa	40,60 \pm 16,12 ABa	35,90 \pm 10,80 Ba
	NPK 10-30-10	56,03 \pm 27,40 Aa	45,47 \pm 21,08 ABa	36,57 \pm 13,24 Ba
Ca²⁺ (cmol_c/kg)	NPK 10-10-10	3,65 \pm 3,12 Aa	4,34 \pm 2,52 Aa	4,48 \pm 2,19 Aa
	NPK 10-30-10	4,17 \pm 3,36 Aa	4,80 \pm 2,59 Aa	3,49 \pm 2,52 Aa
Mg²⁺ (cmol_c/kg)	NPK 10-10-10	0,34 \pm 0,15 Aa	0,48 \pm 0,18 Ba	0,66 \pm 0,35 Ba
	NPK 10-30-10	0,43 \pm 0,16 Ab	0,76 \pm 0,24 Ab	0,65 \pm 0,23 Aa

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na linha, indicam que não há diferenças significativas entre as doses de calcário pelo Teste de Tukey ($P \leq 0,05$). Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna, indicam que não há diferenças significativas entre as formulações de NPK pelo Teste de F ($P \leq 0,05$).

Independente das doses de calagem, os valores de pH aos quatro meses foram significativamente inferiores aos observados aos doze meses ($P=0,01$). É possível que, o período de quatro meses, não tenha sido suficiente para a reação do calcário ou, que as quantidades de calcário aplicadas tenham sido muito baixas para promover uma alteração inicial significativa do pH.

Um ano após a calagem, os teores de magnésio e fósforo sofreram efeito positivo das doses de calcário (Tabela 2). Embora o teor de Mg tenha aumentado mesmo na ausência de calagem, devido à sua incorporação ao solo pela adubação com sulfato de magnésio, a maior contribuição deste elemento foi do calcário ($P<0,01$), composto de 13% de MgO.

A aplicação do calcário no solo, na presença de gás carbônico e umidade, produz Ca^{2+} e Mg^{2+} , base fraca (HCO_3^-) e base forte (OH^-), de acordo com a reação de dissociação do carbonato de cálcio: $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + \text{HCO}_3^- + \text{OH}^-$. Os produtos da dissolução do calcário reagem com os colóides do solo, deixando o solo com cálcio (e magnésio) no lugar dos cátions de caráter ácido (H^+ e Al^{3+}), que passam para a solução do solo (Osaki, 1991; Quaggio, 2000). Como os solos analisados apresentavam inicialmente teor de cálcio e pH elevados, os efeitos da reação do calcário foram percebidos apenas para o magnésio.

O teor de fósforo no solo foi significativamente menor na ausência de calagem, comparado à dose de 1 t/ha ($P<0,01$). O aumento na concentração de P pode ser decorrente da associação deste elemento, inicialmente adsorvido à superfície dos óxidos de ferro e alumínio, com os produtos da dissolução do calcário (cálcio e magnésio), tornando-o mais solúvel (Quaggio,

2000). A dose de 2 t/ha foi estatisticamente igual 0 e 1 t/ha ($P>0,05$), provavelmente porque, sob aplicação de 2 t/ha o excesso de fosfatos de cálcio formados foram lixiviados.

Um ano após a calagem, o potássio sofreu efeito negativo das doses de calcário (Tabela 2). Esperava-se que houvesse um aumento no teor de K com a calagem, visto que as cargas negativas do solo, anteriormente ocupadas por Al^{3+} , um cátion trivalente, são liberadas com a elevação do pH pela calagem e passam a ser ocupadas por cátions bivalentes (Ca^{2+} e Mg^{2+}), deixando uma carga negativa disponível, fazendo com que aumentem os sítios de retenção de íons K^+ (Quaggio, 2000). Porém, no presente estudo, a concentração de K^+ foi significativamente maior no tratamento sem calcário quando comparado com a dose de 2 t/ha ($P<0,05$). A elevada disponibilidade de Ca^{2+} associada à alta mobilidade do K^+ pode ter favorecido sua perda por lixiviação neste tratamento em relação àquele. A dose de 1 t/ha foi estatisticamente igual a 0 e 2 t/ha ($P>0,30$).

O teor de nitrogênio no solo não diferiu entre as doses de calcário ($P=0,42$), apesar de alguns autores afirmarem que a calagem estimula a atividade de organismos mineralizadores, favorecendo a disponibilidade de nitrogênio no solo (Silva & Vale, 2000; Quaggio, 2000).

As concentrações iniciais de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio foram consideradas baixas (Tomé Jr., 1997; Tabela 1). A adubação na cova forneceu um aumento significativo nas quantidades de nutrientes no solo, que se manteve até o final do experimento apenas para o P e Mg^{2+} , apesar da tendência de retorno aos valores iniciais (Tabela 2). Isto mostra claramente a

importância da adubação mineral no aumento da disponibilidade de nutrientes e da reposição, pela adubação de manutenção (que no presente estudo não foi feita), visto que estes elementos podem ser perdidos ao longo do tempo por lixiviação ou pela absorção das plantas, principalmente os elementos com maior mobilidade, como o magnésio e o potássio.

Comparando os dois formulados de adubo, a aplicação de NPK 10-30-10 forneceu uma quantidade significativamente maior de P do que o NPK 10-10-10 ($P < 0,01$), que se manteve por todo período do experimento (Tabela 2). Os demais nutrientes incorporados pelos adubos (N e K) não sofreram variação nos seus teores em função do formulado ($P > 0,17$).

A adubação com NPK 10-30-10 também elevou os teores de Mg^{2+} ($P < 0,02$). Provavelmente, a maior concentração de P, proporcionada por este formulado, se associou ao Mg^{2+} , oriundo da reação de dissociação do calcário e do sulfato de magnésio, formando fosfatos de magnésio, que são assimiláveis pelas plantas, aumentando a concentração e permanência destes nutrientes no solo. Trabalho realizado na mesma região mostrou que não houve diferenças significativas entre as formulações quanto à disponibilidade de P no solo, ao longo de seis meses, fato atribuído ao número reduzido de repetições amostrais (Leal Filho *et al.*, 2004).

Houve um acréscimo de matéria orgânica no solo ao longo do tempo, independente dos tratamentos (Tabelas 1 e 2). Este acúmulo foi provavelmente resultante da decomposição lenta da vegetação espontânea removida, uma vez que, após as capinas, era deixada sobre o solo como proteção contra os processos erosivos. Moreira & Costa (2004), ao compararem o reflorestamento

de clareiras com diferentes idades, verificaram que na camada de 0-10 cm de profundidade os teores de N, P e K disponíveis estão diretamente relacionados com o conteúdo de matéria orgânica, que, segundo os autores, só aumenta significativamente a partir do quarto ano de idade do reflorestamento. Portanto, a matéria orgânica é um importante indicador de recuperação do solo.

Nutrição das plantas

O teor inicial de nutrientes variou conforme as espécies utilizadas. As concentrações de macronutrientes no material vegetal de plantas terrestres podem variar dentro dos seguintes limites em g/kg: nitrogênio, 15-25; fósforo 1,5-3; potássio 5-20; cálcio 3-15; magnésio 1-3 (Larcher, 2006). Considerando estes intervalos, verificou-se que apenas para o Ca e Mg, todas as espécies apresentaram inicialmente as concentrações adequadas (Tabela 3). A copaíba (*Copaifera multijuga* Hayne) e a ucuúba (*Virola surinamensis* (Roland) Warb) apresentaram concentrações iniciais de P e K inferiores. Os teores de K apenas na goiaba-de-anta (*Bellucia grossularioides* Triana) foram inicialmente baixos. O lacre (*Vismia japurensis* Reich.) foi a única espécie que se enquadrou dentro dos limites de níveis considerados adequados de nutrientes nas plantas.

Comparando-se os teores de nutrientes foliares antes (Tabela 3) e depois do plantio (Tabela 4), sem considerar os tratamentos, observaram-se diferenças entre as espécies. Para a goiaba-de-anta, os teores dos nutrientes analisados foram mais elevados nas mudas do viveiro do que nos indivíduos plantados ($P < 0,01$), exceto para Ca e Mg ($P > 0,30$). As plantas de lacre após o

plântio apresentaram quantidades significativamente menores de N, P, K e Mg ($P < 0,02$), comparadas às mudas do viveiro. Os teores de nutrientes nas folhas de copaíba antes do plântio não diferiram significativamente dos indivíduos plantados ($P > 0,40$), exceto para o P, que se apresentou em maior quantidade nas mudas do viveiro ($P < 0,01$), e para o Mg, que apresentou maior concentração após o plântio ($P = 0,05$). Para a ucuúba, as maiores concentrações de Ca e Mg ocorreram em campo, ao contrário do N, cuja maior concentração ocorreu nas mudas do viveiro ($P < 0,01$).

Tabela 3 – Teor inicial de macronutrientes no tecido foliar das espécies utilizadas, antes do plântio em três áreas degradadas da Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari, Amazonas (médias \pm desvio-padrão).

	<i>B. grossularioides</i>	<i>V. japurensis</i>	<i>C. multijuga</i>	<i>V. surinamensis</i>
N (g/kg) ¹	10,94 \pm 4,38	11,69 \pm 2,20	10,11 \pm 1,79	12,43 \pm 2,89
P (g/kg) ²	3,40 \pm 0,60	4,19 \pm 0,19	0,77 \pm 0,11	1,03 \pm 0,09
K (g/kg) ²	9,16 \pm 3,53	13,73 \pm 0,72	4,94 \pm 0,71	8,39 \pm 0,40
Ca (g/kg) ²	12,97 \pm 1,76	8,01 \pm 3,02	10,09 \pm 0,62	12,25 \pm 3,98
Mg (g/kg) ²	2,53 \pm 0,89	2,89 \pm 0,27	1,23 \pm 0,11	1,59 \pm 0,22

Métodos: ¹Digestão sulfúrica (Kjeldahl); ²Digestão nitroperclórica.

Em todas as espécies, muitos indivíduos plantados apresentaram sintomas de deficiência nutricional, como amarelecimento das folhas. A redução na concentração de alguns elementos após o plântio, pode ser explicada pelo efeito de diluição. Com o crescimento das plantas, os nutrientes foram retranslocados das folhas para caule e raízes (Primavesi, 1981; Larcher, 2006).

Tabela 4 - Efeito de doses de calcário sobre os teores foliares de macronutrientes de quatro espécies florestais, nove meses após o plantio em áreas degradadas da Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari, Amazonas (médias \pm desvio-padrão).

		<i>Bellucia grossularioides</i>		<i>Vismia japurensis</i>	
		NPK 10-10-10	NPK 10-30-10	NPK 10-10-10	NPK 10-30-10
N (g/kg)	0 t/ha	7,39 \pm 2,2 Aa	6,74 \pm 0,6 Aa	7,20 \pm 0,5 Aa	6,82 \pm 0,5 Aa
	1 t/ha	6,63 \pm 0,9 Aa	7,35 \pm 0,8 Aa	6,07 \pm 0,3 Aa	7,05 \pm 0,7 Aa
	2 t/ha	6,48 \pm 0,7 Aa	6,35 \pm 0,9 Aa	6,38 \pm 0,6 Aa	6,23 \pm 1,0 Aa
P (g/kg)	0 t/ha	1,09 \pm 0,3 Aa	1,44 \pm 0,3 Ab	2,06 \pm 0,7 Aa	3,56 \pm 0,8 Aa
	1 t/ha	1,15 \pm 0,2 Aa	1,37 \pm 0,5 Ab	2,91 \pm 0,7 Aa	3,10 \pm 0,9 Aa
	2 t/ha	1,04 \pm 0,2 Aa	1,71 \pm 0,1 Ab	2,86 \pm 0,8 Aa	3,24 \pm 0,5 Aa
K (g/kg)	0 t/ha	6,33 \pm 1,2 Aa	7,42 \pm 0,4 Aa	5,21 \pm 1,2 Aa	6,11 \pm 2,1 Aa
	1 t/ha	7,04 \pm 0,5 Aa	5,35 \pm 1,4 Aa	6,00 \pm 0,1 Aa	5,54 \pm 1,7 Aa
	2 t/ha	6,07 \pm 1,5 Aa	6,21 \pm 0,4 Aa	6,11 \pm 0,2 Aa	5,62 \pm 1,2 Aa
Ca (g/kg)	0 t/ha	10,57 \pm 2,8 Aa	14,29 \pm 2,9 Aa	10,25 \pm 2,6 Aa	10,72 \pm 5,3 Aa
	1 t/ha	15,90 \pm 3,9 ABa	14,42 \pm 3,2 Aa	9,65 \pm 5,8 Aa	9,42 \pm 0,8 Aa
	2 t/ha	18,87 \pm 1,3 Ba	17,56 \pm 3,5 Aa	12,03 \pm 5,4 Aa	10,47 \pm 4,0 Aa
Mg (g/kg)	0 t/ha	1,99 \pm 0,5 Aa	2,38 \pm 0,4 Aa	1,93 \pm 0,2 Aa	2,09 \pm 0,4 Aa
	1 t/ha	2,41 \pm 0,2 Aa	2,50 \pm 0,5 Aa	2,25 \pm 0,2 Aa	2,11 \pm 0,3 Aa
	2 t/ha	2,40 \pm 0,5 Aa	2,81 \pm 0,2 Aa	2,29 \pm 0,4 Aa	2,43 \pm 0,5 Aa
		<i>Copaifera multijuga</i>		<i>Virola surinamensis</i>	
		NPK 10-10-10	NPK 10-30-10	NPK 10-10-10	NPK 10-30-10
N (g/kg)	0 t/ha	10,11 \pm 1,6 Aa	10,12 \pm 1,4 Aa	8,75 \pm 1,3 Aa	8,80 \pm 0,7 Aa
	1 t/ha	10,43 \pm 0,8 Aa	10,12 \pm 1,2 Aa	7,89 \pm 1,0 Aa	7,60 \pm 0,6 Aa
	2 t/ha	9,49 \pm 0,8 Aa	10,96 \pm 2,1 Aa	8,23 \pm 1,4 Aa	7,98 \pm 1,5 Aa
P (g/kg)	0 t/ha	0,42 \pm 0,0 Aa	0,42 \pm 0,0 Aa	0,88 \pm 0,2 Aa	0,91 \pm 0,1 Aa
	1 t/ha	0,41 \pm 0,0 Aa	0,42 \pm 0,0 Aa	0,82 \pm 0,1 Aa	0,90 \pm 0,2 Aa
	2 t/ha	0,37 \pm 0,0 Aa	0,47 \pm 0,0 Ab	0,73 \pm 0,2 Ba	0,42 \pm 0,1 Ba
K (g/kg)	0 t/ha	5,19 \pm 0,7 Aa	5,05 \pm 0,5 Aa	7,28 \pm 1,8 Aa	6,93 \pm 0,6 Aa
	1 t/ha	5,31 \pm 0,1 Aa	5,25 \pm 0,4 Aa	7,19 \pm 1,0 Aa	6,82 \pm 1,9 Aa
	2 t/ha	4,78 \pm 0,8 Aa	6,18 \pm 0,8 Aa	8,55 \pm 1,1 Aa	7,11 \pm 3,5 Aa
Ca (g/kg)	0 t/ha	10,86 \pm 2,9 Aa	10,20 \pm 2,5 Aa	23,13 \pm 4,2 Aa	30,18 \pm 6,3 Aa
	1 t/ha	11,72 \pm 2,3 Aa	12,63 \pm 2,0 Aa	30,23 \pm 4,7 Aa	29,54 \pm 3,6 Aa
	2 t/ha	14,85 \pm 1,7 Aa	9,98 \pm 1,7 Aa	30,53 \pm 5,0 Aa	31,99 \pm 4,3 Aa
Mg (g/kg)	0 t/ha	1,41 \pm 0,1 Aa	1,59 \pm 0,1 Aa	2,78 \pm 0,5 Aa	3,07 \pm 0,6 Aa
	1 t/ha	1,50 \pm 0,1 Aa	1,59 \pm 0,3 Aa	3,57 \pm 0,3 Aa	3,72 \pm 0,3 Aa
	2 t/ha	1,71 \pm 0,5 Aa	1,47 \pm 0,3 Aa	2,97 \pm 0,5 Aa	3,23 \pm 0,7 Aa

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na coluna, indicam que não há diferenças significativas entre as doses de calcário pelo Teste de Tukey ($P \leq 0,05$). Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na linha, indicam que não há diferenças significativas entre as formulações de NPK pelo Teste de F ($P \leq 0,05$).

Os teores de cálcio não variaram entre as doses de calcário testadas para três das quatro espécies ($P > 0,10$). Apenas *B. grossularioides* teve sua concentração foliar de Ca reduzida no tratamento sem calagem, comparada à dose de 2 t/ha ($P = 0,02$; Tabela 4).

Os teores foliares de magnésio não variaram entre os tratamentos ($P > 0,10$), embora disponível no solo em maior quantidade pela adição extra de Mg com a calagem. De acordo com Marengo & Lopes (2005), a adubação intensa com cálcio pode induzir a deficiência de magnésio, pois o Ca^{2+} , requerido em maior quantidade, compete com o Mg^{2+} pelos sítios de absorção da planta (Marschner, 1995), fazendo com que o aumento na concentração de um destes elementos no meio cause diminuição na absorção do outro (Duboc *et al.*, 1996; Venturin *et al.*, 1999; Marques *et al.*, 2004). Assim, que a incorporação excessiva de magnésio pode representar prejuízo, visto que, com o tempo, este elemento de alta mobilidade no solo se perde por lixiviação. Nove meses após o plantio, *V. surinamensis* apresentou em média os maiores teores foliares de cálcio (29,27 g/kg) e magnésio (3,21 g/kg).

Os teores foliares de Mg também não diferiram para *B. grossularioides* e *V. japurensis* entre os tratamentos de calagem em áreas de sucessão secundária sobre pastagens abandonadas na Amazônia central (Silva *et al.*, 2006).

O teor de fósforo foi significativamente maior nas plantas de *V. surinamensis* nos tratamentos sem calagem e com 1 t/ha de calcário dolomítico ($P < 0,01$) do que no tratamento com 2 t/ha. O fósforo do solo pode ser absorvido pelas plantas somente nas formas solúveis de fosfato de cálcio,

potássio e magnésio (Marenco & Lopes, 2005). Considerando que o pH inicial já era elevado, a maior quantidade de P no solo, proporcionada pela aplicação de 2 t/ha de calcário dolomítico, pode ter sido superior ao requerimento para o desenvolvimento inicial da espécie, não refletindo em aumento na concentração do elemento no tecido foliar.

Quanto às formulações de adubo, duas das quatro espécies apresentaram diferenças nas concentrações de P foliar. *B. grossularioides* apresentou maiores teores de P quando plantada sob a aplicação de NPK 10-30-10 ($P < 0,01$). Para *C. multijuga*, apenas na dose de 2 t/ha de calcário dolomítico houve maior concentração de P sob adubação com NPK 10-30-10 em relação ao NPK 10-10-10 ($P = 0,017$; Tabela 4). De modo semelhante, ao analisar-se o efeito da calagem e adubação fosfatada sobre a absorção de nutrientes de espécies pioneiras em pastagens degradadas da Amazônia Central, somente as plantas de goiaba-de-anta apresentaram maiores teores foliares de P em resposta à adubação fosfatada (Silva *et al.*, 2006). Estudos anteriores realizados com *B. grossularioides* mostraram que, comparada com outras espécies pioneiras, esta espécie parece ser muito exigente de N e P e pouco exigente de Ca e Mg (Santos Junior *et al.* 2006; Silva *et al.*, 2006).

Das espécies estudadas, embora não tenha mostrado diferenças nos teores de P entre os formulados de adubo, *V. jaturensis* foi a que apresentou a maior concentração média de P (2,96 g/kg). Diferentemente, Silva *et al.* (2006) verificaram que o lacre é uma espécie pouco exigente em macronutrientes, pois apresentou os menores teores foliares comparados aos de outras espécies estudadas (*B. grossularioides* e *Laetia procera*), sob efeito da

calagem e adubação fosfatada em área de sucessão secundária. *V. japurensis* parece requerer maior quantidade de fósforo para o seu crescimento inicial, tornando-se menos exigente após o seu estabelecimento.

A ausência de resposta positiva aos tratamentos nos teores de cálcio e fósforo, para três das quatro espécies estudadas, também pode ser devido ao efeito de concentração/diluição. As plantas podem ter absorvido mais nutrientes com o aumento das doses de calcário e de fósforo, porém com o seu crescimento, a concentração dos elementos em seus tecidos manteve-se em equilíbrio. Sendo assim, para *B. grossularioides*, a maior absorção de cálcio e fósforo em resposta aos tratamentos, pode indicar que a espécie não apresentou um crescimento proporcional ao acréscimo desses nutrientes, apresentando apenas um consumo de luxo.

De um modo geral, as pioneiras apresentaram melhor estado nutricional, isto é, maiores concentrações de nutrientes, antes de serem plantadas, enquanto que as clímax mantiveram seus teores de nutrientes após o plantio semelhantes aos iniciais.

No presente estudo, após o plantio, as pioneiras, para otimizar seu crescimento (Resende *et al.*, 2000), apresentaram maiores teores de P que as clímax; estas, por sua vez, tiveram maiores concentrações de nitrogênio que as pioneiras, não sendo observada relação dos teores de nutrientes com o gradiente sucessional nas condições estudadas. Cada espécie apresentou exigências próprias, não permitindo generalizações.

O aumento na concentração de P, em resposta ao incremento de P fornecido pelo formulado NPK 10-30-10, apenas para a goiaba-de-anta

(pioneira) e para copaíba (clímax), somente na dose de 2 t/ha de calcário, concorda com os resultados obtidos por Fetcher *et al.* (1996), nos quais a adição de P produziu um aumento na concentração foliar deste nutriente independente do estágio sucessional das espécies. Semelhantemente, em mudas de 80 espécies lenhosas cultivadas sob luz, 70% das espécies exigentes de luz demonstraram aumento nos teores de P e 95% das tolerantes à sombra também responderam positivamente à adubação (Lawrence, 2003). De acordo com Marschner (1991), plantas adaptadas aos solos de baixa fertilidade apresentam, em geral, altas concentrações de fósforo e outros nutrientes na parte aérea, como estratégia para evitar o estresse nutricional.

O requerimento de P pode estar associado a diversos fatores, como o grau de desenvolvimento do sistema radicular, a dependência micorrízica, a taxa de crescimento e o estágio de desenvolvimento da planta (Marschner, 1991; Zangaro *et al.*, 2003), o que dificulta a adoção de um padrão de fertilização em plantios florestais heterogêneos. Para as espécies clímax, a resposta pode ser decorrente de fatores evolutivos, como a pouca exigência de minerais devido a seu lento de crescimento (Zangaro *et al.*, 2003). Já as pioneiras, de crescimento mais agressivo, são mais responsivas à fertilização, apresentando maior plasticidade e sendo aptas em absorver nutrientes sob variadas condições de fertilidade do solo (Furtini Neto *et al.*, 1999a).

Em condições de casa de vegetação, espécies pioneiras e secundárias do Cerrado, após a correção do solo, apresentaram maiores conteúdos de Ca, Mg e P. Em contraste, os conteúdos de Ca, Mg e P das espécies clímax foram apenas levemente afetados pela calagem (Furtini Neto *et al.*, 1999b). Resende

et al. (2000), ao estudarem o efeito da adubação fosfatada sobre a nutrição mineral de espécies florestais arbóreas, em casa-de-vegetação, observaram que os teores foliares de fósforo variaram em função da dose de P e da espécie dentro de cada grupo sucessional, embora praticamente não se observem diferenças entre os teores médios dos diferentes grupos sucessionais. Para os demais nutrientes (N, K, Ca e Mg), as diferenças referentes à concentração foliar foram relacionadas às variações entre espécies.

A insuficiência de respostas positivas ao aumento nas doses de calcário e fósforo, no presente estudo, pode ser devido ao elevado grau de degradação do solo que envolve não só a fertilidade, mas também a estrutura física dos solos das áreas degradadas. A compactação do solo, por exemplo, tem efeito negativo no desenvolvimento vegetal, por impedir o crescimento radicular, diminuir a porosidade e reduzir a infiltração de água e sua disponibilidade para as plantas (Teixeira *et al.*, 2006; Casagrande & Soares, 2007), dificultando a absorção e assimilação suficiente de nutrientes minerais (Primavesi, 1981).

3.4 Conclusões

A calagem melhorou a fertilidade do solo, aumentando a disponibilidade de magnésio, porém as plantas não responderam em maior absorção deste nutriente.

Das espécies utilizadas, apenas *B. grossularioides* aumentou a concentração foliar de Ca com a calagem.

A adubação com NPK 10-30-10 forneceu maior disponibilidade de fósforo ao solo, comparado com NPK 10-10-10, porém, somente *B. grossularioides* mostrou aumento na concentração de P sob adubação com NPK 10-30-10 em relação ao NPK 10-10-10. Para *C. multijuga*, esta resposta ocorreu apenas na dose de 2 t/ha de calcário. As demais espécies não responderam de forma significativa.

Não foram observadas diferenças entre pioneiras e clímax quanto ao estado nutricional em resposta às doses de calcário e formulações de adubo.

A pouca influência dos tratamentos sobre a nutrição das plantas indica a possibilidade de se utilizar uma dosagem inferior a de 2 t/ha de calcário dolomítico e o adubo NPK 10-10-10, na recuperação de áreas degradadas da região de Urucu com semelhante histórico de uso das utilizadas no presente estudo e desde que feita a manutenção do plantio.

4. ARTIGO II - Sobrevivência e crescimento de espécies pioneiras e clímax em resposta à calagem e adubação em plantios para recuperação de áreas degradadas na região do rio Urucu, Coari - AM.

(Normas da Revista Acta Amazonica)

4.1 Introdução

Os efeitos dos distúrbios decorrentes de atividades humanas sobre o solo são freqüentemente mais intensos, severos, extensivos e prolongados do que os que ocorrem em clareiras naturais (Baillie, 1996). Portanto, o principal objetivo a ser alcançado pelos reflorestamentos na recuperação de áreas degradadas, é que os plantios formem rapidamente novos ecossistemas, equilibrados, permanentes e capazes de se auto-renovarem, tendo sempre como referência os processos naturais de recuperação e regeneração da floresta (Crestana *et al.*, 2004).

A regeneração natural da floresta ocorre basicamente através da germinação do banco de sementes do solo; da chuva de sementes, dispersas por vento ou animais até o local recém aberto; de plântulas ou indivíduos jovens pré-estabelecidos que sobreviveram ao distúrbio; e da rebrota de sobreviventes ou de indivíduos no dossel adjacente, através do preenchimento parcial ou total do espaço no dossel por galhos do dossel circundante ou ramos novos produzidos pelas árvores quebradas (Brokaw, 1985; Denslow, 1987; Connell, 1989).

Na natureza, a regeneração após um distúrbio segue um processo de fases contínuas em uma seqüência temporal conhecida como sucessão vegetal (Whitmore, 1989). No desenvolvimento da sucessão, é possível distinguir entre as espécies vegetais, pelo menos, dois grandes grupos funcionais. A característica mais relatada e utilizada para diferenciar grupos é o requerimento de luz para a regeneração.

De acordo com os nichos de regeneração e desenvolvimento (Swaine & Whitmore, 1988), durante o ciclo de crescimento florestal, grandes clareiras são ocupadas principalmente por espécies *pioneiras*. Estas espécies, adaptadas às condições de competição reduzida, possuem sementes que germinam e plântulas que se estabelecem e desenvolvem rapidamente sob intensa radiação solar, apresentando rápido crescimento sob alta luminosidade. Quando o dossel de pioneiras atinge a fase madura, inicia-se a fase de substituição gradual (degeneração), pequenas clareiras são formadas, e estas são fechadas pelo crescimento de espécies mais competitivas, as *clímax*, cujas sementes podem germinar sob a sombra do dossel florestal e cujas plântulas, de um modo geral, podem se estabelecer, sobreviver e crescer nesse ambiente (Swaine & Whitmore, 1988). Além disso, as pioneiras têm melhor plasticidade fotossintética (Baker *et al.*, 2003) e alocam grande parte de sua energia no esforço reprodutivo, em detrimento de investimentos em defesa química e estrutural contra herbivoria (Melo *et al.*, 2004). Já as espécies clímax investem parte significativa de sua energia em defesas químicas e estruturais, contra ataque de patógenos e herbívoros (Melo *et al.*, 2004).

A compreensão dos conceitos envolvidos na classificação ecológica e no processo sucessional, bem como dos mecanismos naturais de regeneração de áreas perturbadas, é fundamental para organizar ações de manejo, conservação e reabilitação de áreas degradadas (Ferraz *et al.*, 2004; Crestana *et al.*, 2004), onde a sucessão vegetal acontece naturalmente de forma muito lenta, quando o impacto da atividade humana é muito intenso.

Os plantios têm como vantagens, em relação à sucessão natural, o rápido acúmulo de biomassa e nutrientes nas camadas superficiais do solo, contribuindo para a recuperação da fertilidade do solo, e não excluem o estabelecimento natural de espécies nativas em seus sub-bosques, através das modificações nas condições microclimáticas (luz, temperatura e umidade na superfície do solo), permitindo a germinação de sementes transportadas pelo vento, animais e outros vetores das florestas remanescentes adjacentes e favorecendo o desenvolvimento de uma floresta auto-sustentável (Lugo, 1990; Parrota *et al.*, 1997). Em Trombetas, no Estado do Pará, por exemplo, o plantio misto de um grande número de espécies nativas de vários grupos sucessionais, para a recuperação das áreas degradadas por exploração de bauxita, apesar do alto custo, tem mostrado resultados favoráveis quanto à biodiversidade (Parrota & Knowles, 1999; Lamb *et al.*, 2005).

Na província petrolífera de Urucu, município de Coari, Amazonas, a empresa PETROBRAS desenvolve a prospecção e produção de gás natural e petróleo. Para tal, são abertas clareiras no interior da floresta. Após o uso das áreas e seu abandono, é feita a recuperação ambiental através do preparo do solo e reflorestamento com espécies nativas da região. O preparo do solo

envolve, dentre outras práticas, a calagem, com a aplicação de 2 t/ha de calcário dolomítico, e a adubação mineral em cova com 200 g de NPK 10-30-10 e 50 g de sulfato de magnésio. A calagem consiste na incorporação de cálcio e magnésio para neutralizar a acidez do solo, ou seja, elevar o pH até que este alcance o nível ideal para o desenvolvimento normal das plantas (Osaki, 1991). Já a adubação mineral visa aumentar a disponibilidade de nutrientes no solo necessários para o crescimento vegetal.

No entanto, o adubo NPK 10-30-10 não é comercializado em Manaus e sua aquisição no Centro-Sul do país o torna um produto de alto custo, ao contrário da formulação NPK10-10-10 que é facilmente encontrada no mercado local. O alto custo no preparo e fertilização do solo nem sempre se reflete em sucesso nos reflorestamentos, apesar das posteriores operações de manutenção do plantio. Isto se deve a possibilidade das espécies utilizadas não responderem da forma esperada a aplicação de calcário e adubo para o seu desenvolvimento ou ainda da existência de outros fatores limitantes relacionados a características físicas do solo.

De um modo geral, espécies pioneiras e clímax apresentam respostas diferenciadas à fertilização e à calagem. A maioria dos trabalhos realizados mostra que as pioneiras respondem positivamente à adição de nutrientes ao solo, enquanto que espécies clímax são indiferentes (Dias *et al.*, 1991; Burslem *et al.*, 1995; Furtini Neto *et al.*, 1999b; Resende *et al.*, 1999; Lawrence, 2003).

Considerando os investimentos em adubação e correção do solo, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito da dosagem de calcário e formulação de adubo sobre a sobrevivência e o crescimento inicial de duas

espécies clímax e duas pioneiras plantadas sobre áreas degradadas na região de Urucu, Coari, Amazonas, a fim de ampliar o conhecimento silvicultural e verificar se há alternativas para a melhorar o desempenho e reduzir os custos dos plantios de recuperação na Amazônia.

4.2 Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido no município de Coari, Estado do Amazonas, na a 650km a oeste de Manaus, na Base de Operação Geólogo Pedro de Moura (4°51'04"S e 65°17'52"O), Província Petrolífera de Urucu, pertencente a PETROBRAS, onde se desenvolvem atividades de exploração de gás natural e petróleo.

Na região predominam os Argissolos Vermelho-Amarelos, de textura média, ácidos, argilosos e de consistência dura, que ocorrem em relevo suave e ondulado (Ministério das Minas e Energia, 1978; IBGE, 2005). O clima apresenta uma estação seca de junho a novembro e uma estação chuvosa de dezembro a maio. A média anual de precipitação é de 2.239,0 mm, com 66,1% da precipitação distribuída na estação chuvosa e 33,9% na estação seca. As temperaturas médias mensais oscilam entre 25,2 °C e 26,2°C. Com base na classificação climática de Thornthwaite & Matter (1955), a região de Urucu possui clima do tipo **B₄ r A' a'**, que significa clima úmido, megatérmico, com pequena deficiência de água no período seco (Ribeiro, 2008). A vegetação é composta por Floresta Densa de terra-firme, cujas famílias mais

representativas são Lecythidaceae, Sapotaceae, Chrysobalanaceae, Myristicaceae e Moraceae (Lima Filho *et al.*, 2001).

Foram utilizadas três áreas degradadas, com aproximadamente 0,5ha: duas jazidas (56 e 58), que sofreram a remoção da cobertura superficial e da camada subsuperficial do solo para uso na construção e manutenção de estradas e que, posteriormente tornaram-se áreas de “bota-fora”, onde foram despejados resíduos de construção; além de uma clareira (Clareira 4), onde ocorreu apenas a retirada da cobertura vegetal.

A jazida 56 (4°45,977'S; 65°02,659'O) situa-se no km 51 da estrada de acesso ao Porto Evandro, sem registro da data de abertura, caracteriza-se pela ocorrência de leguminosas arbustivas e gramíneas, solo com resíduos de seixo, areia e asfalto e topografia irregular, com declividade do terreno de aproximadamente 2%. A jazida 58 (4°51,220'S; 65°04,157'O), localizada no km 38,5, foi aberta no final de 1998 e também apresenta resíduos de entulhos (asfalto e concreto) provenientes da construção de estradas, com declives (cerca de 3%) e vegetação rasteira com gramíneas. Esta área foi reflorestada sem sucesso em 1999 com 1000 mudas de nove espécies florestais. A clareira 4 (4°52,753'S; 65°20,200'O), situada próximo ao aeroporto, não tem registro da data de abertura, mas trata-se de uma área criada para acampamento de uma construtora, com antigo campo de futebol abandonado, coberta por capim quicuío (*Brachiaria humidicola* (Rend.) Scheich), sobre terreno plano, com solo de textura variável.

Em cada área foram estabelecidas três parcelas de 10 x 30 m, com a maior extensão acompanhando o sentido da declividade do terreno. As

parcelas foram divididas em seis subparcelas de 5 x 10m (Figura 1). Cada parcela correspondeu a um tratamento de calagem: 0 t/ha; 1 t/ha; 2 t/ha de calcário dolomítico (CaO 32%; MgO 13%; PRNT 95%). A aplicação do calcário foi feita a lanço e sua incorporação ao solo através de trator com grade aradora, em outubro de 2006. O plantio foi realizado em janeiro de 2007, 90 dias após a calagem. A abertura das covas 40 x 40 cm (diâmetro x profundidade), a cada um metro, foi feita usando perfurador de solo com broca helicoidal, e a adubação em cova com 200 g de NPK e 50 g de sulfato de magnésio, antes do plantio. Em cada tratamento de calagem foram testadas duas formulações de adubação química em cova: NPK (10-10-10) e NPK (10-30-10), na forma de N total, pentóxido de fósforo e óxido de potássio, em mistura de grânulos. As formulações foram aplicadas alternadamente por subparcela, somando três repetições para cada formulação de adubo NPK, em cada parcela. Cada subparcela foi composta de 50 plantas (aproximadamente 12 plantas de cada espécie) num espaçamento de 1,0 m entre as covas.

Para reduzir possível competição intra-específica, foi plantada em cada linha, alternadamente, uma espécie pioneira e uma clímax e assim sucessivamente (Figura 1).

As espécies pioneiras utilizadas foram a goiaba-de-anta (*Bellucia grossularioides* Triana) e o lacre (*Vismia japurensis* Reich.) e como espécies clímax a copaíba (*Copaifera multijuga* Hayne) e a ucuúba (*Virola surinamensis* (Roland) Warb). As mudas provenientes do viveiro localizado em Urucu apresentavam bom estado fitossanitário, idade e altura semelhantes (16-40 cm) e tinham como substrato terriço de floresta adubado com NPK 10-30-10.

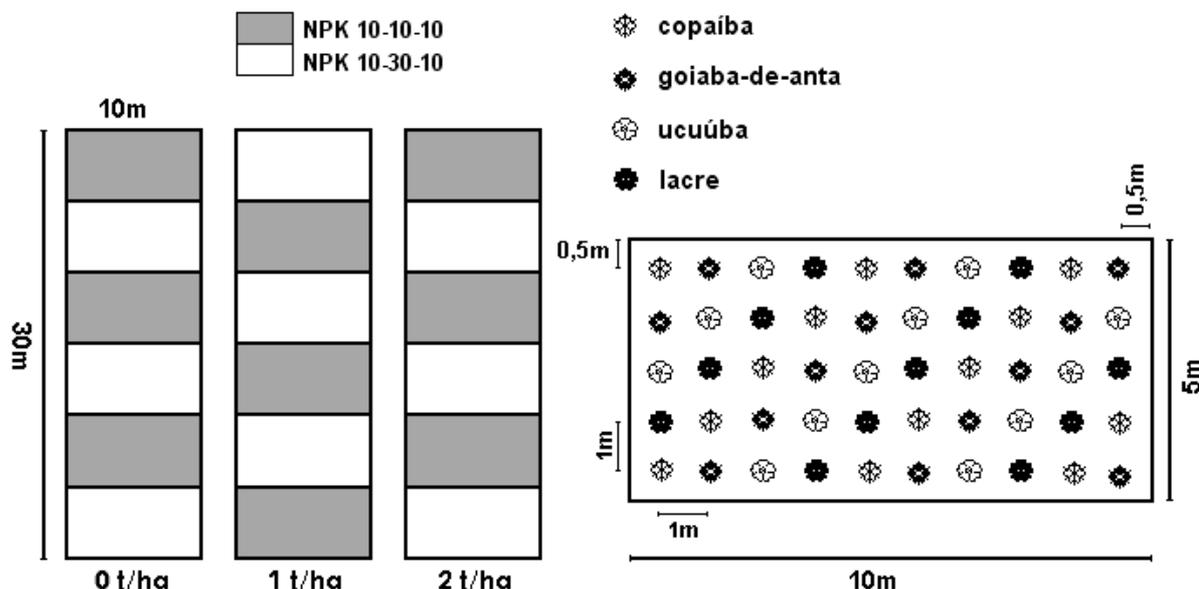


Figura 1 – Esquema das parcelas (tratamentos de calagem), subparcelas (repetições de cada formulação de NPK) e disposição das plantas em cada área selecionada.

Um mês após o plantio, as plantas mortas foram substituídas pelo plantio de novos indivíduos. Para a redução da vegetação invasora oportunista (gramas e ervas) que se estabelecia após o plantio, foi realizada a manutenção do plantio com roçagem nas entrelinhas um, três e oito meses após o plantio.

O acompanhamento do plantio se estendeu por onze meses, com a avaliação de todos os indivíduos que apresentavam folhas verdes, caule firme ou rebrotamento. A porcentagem de sobrevivência foi determinada a partir da razão entre a somatória de sobreviventes antes do replantio e no final do experimento (fevereiro e dezembro/2007) e o número total de indivíduos plantados de cada espécie.

A análise do crescimento das plantas baseou-se na medição, a cada cinco meses a partir do replantio, da altura (comprimento do caule ao nível do solo até a gema apical) e do diâmetro (espessura do caule ao nível do solo),

utilizando-se uma trena e um paquímetro, respectivamente. Os dados foram utilizados para o cálculo do crescimento absoluto (diferença entre as medições final e inicial) e do crescimento relativo (logaritmo da razão entre a medida final e a inicial, dividido pelo tempo em meses) (Hunt, 1982). A taxa de crescimento relativo é utilizada para os casos em que o tamanho inicial pode influenciar o crescimento e permite fazer comparações entre espécies.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com três repetições (áreas degradadas), em esquema fatorial 3 x 2: três doses de calcário (0, 1, 2 t/ha), e duas formulações de adubo (NPK 10-30-10 e NPK 10-10-10), considerando cada espécie individualmente. Para comparações entre as quatro espécies e entre os dois grupos sucessionais, estes foram adicionados como fatores no esquema utilizado. O crescimento e a sobrevivência foram submetidos à análise de variância (ANOVA) em esquema fatorial, com a comparação das médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa Systat (versão 10.0).

4.3 Resultados e Discussão

Sobrevivência

O plantio foi feito em janeiro de 2007, durante a época chuvosa que, na região de Urucu, se estende de dezembro a maio (Arruda, 2005; Ribeiro, 2008). A sobrevivência média inicial, um mês após o plantio, foi considerada baixa (40%), comparada a dos plantios realizados pela empresa responsável pelo reflorestamento em Urucu (97%) (dados não publicados), daí a

substituição das plantas mortas pelo plantio de novas mudas. Cinco meses após o replantio, prosseguiu-se uma nova avaliação, em julho de 2007. Nesta época, desconsiderando-se as perdas do plantio, a sobrevivência foi de 69,1%. Após a época seca, em dezembro de 2007, a sobrevivência do replantio diminuiu para 56,7%. Assim, a sobrevivência média desde janeiro (plantio e replantio), foi muito baixa, ficando em torno de 37,9%.

Outro experimento, também em Urucu, obteve a média de sobrevivência superior a 95% em dois meses, no plantio de nove espécies, feito na época de menor precipitação (mês de agosto) (Santos Júnior *et al.*, 2006). Nas áreas alteradas em Urucu, os solos apresentam alta compactação e densidade, que afetam a drenagem e provocam acúmulo de água no solo. Estas condições podem causar a morte das plantas pela falta de oxigenação das raízes. Na época de menor precipitação há melhores condições de aeração dos solos compactados e impermeáveis das áreas a serem recuperadas em Urucu do que na época úmida (Leal Filho *et al.*, 2004). Portanto, é provável que a baixa sobrevivência das plantas esteja relacionada à época do plantio e à interação com os fatores físicos do solo.

Em nenhuma das espécies utilizadas foi constatado o efeito das doses de calcário ($P=0,52$) e das formulações do adubo NPK utilizadas ($P=0,34$) sobre a sobrevivência. Entretanto, as quatro espécies apresentaram diferenças entre si. *Copaifera multijuga* apresentou menor sobrevivência (28%), seguida pela *Bellucia grossularioides* (30%), *Vismia japurensis* (44%) e *Virola surinamensis* (50%) (Figura 2).

Possivelmente, a falta de efeito significativo esteja relacionada ao elevado desvio-padrão observado. O comportamento das espécies pode ter variado em função de outras condições locais, como a competição por nutrientes com a vegetação invasora persistente na área do experimento, composta principalmente por leguminosas arbustivas, herbáceas e gramíneas.

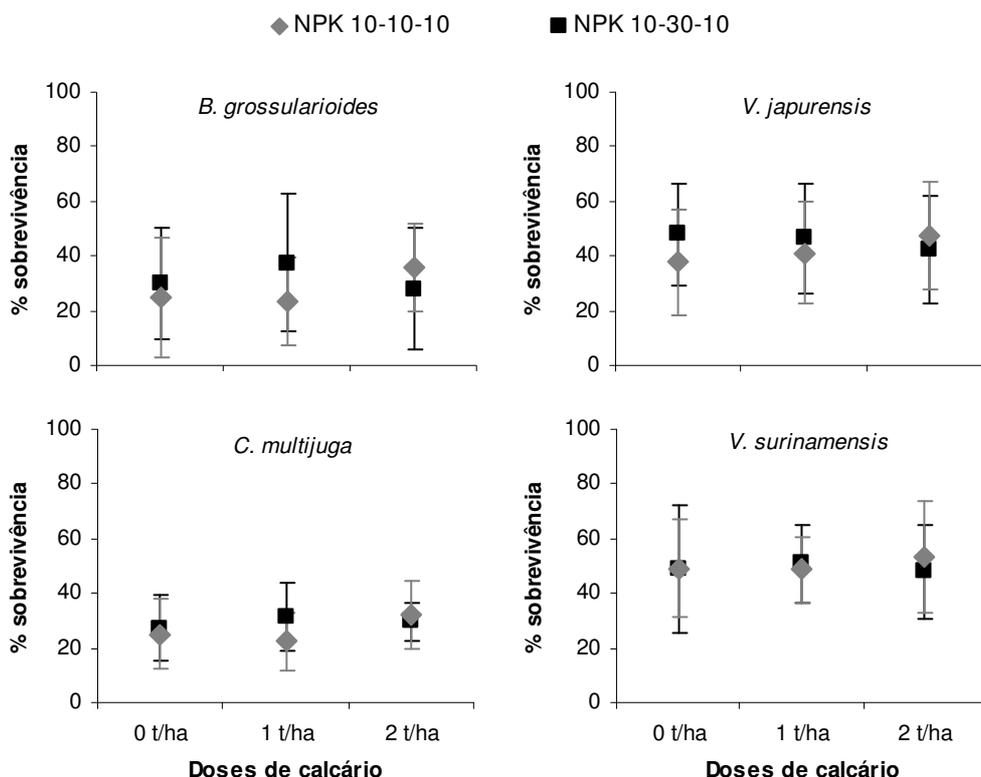


Figura 2 – Efeito da aplicação de doses de calcário e de duas formulações de adubo NPK sobre a sobrevivência (médias \pm desvio-padrão) das espécies estudadas, onze meses após o plantio (dezembro/ 2007).

Elias (1997) ao comparar o desenvolvimento inicial de mudas de copaíba transplantadas para ambientes de diferentes estágios sucessionais, após 19 meses, a maior sobrevivência foi nas florestas, primária (80-95%) e secundária (80%), em relação às pastagens (60%), o que pode indicar que a espécie se desenvolve melhor em áreas sombreadas. Aparentemente, a planta

também é sensível à estiagem, pois em julho de 2007, após a estação chuvosa e sem considerar as perdas antes do replantio, a sobrevivência da copaíba ficou em torno de 61%, caindo para 44% no final da estação seca, em dezembro do mesmo ano.

Dados de sobrevivência da goiaba-de-anta na região de Urucu, plantadas em agosto e avaliadas após dois meses, mostraram sobrevivência superior a 70% (Santos Júnior *et al.*, 2006). Desconsiderando-se a mortalidade inicial (antes do replantio), neste experimento, a sobrevivência de *B. grossularioides* em julho de 2007 ficou em torno de 58%, baixando para 43% no final da estação seca, em dezembro do mesmo ano. Como esta espécie é freqüente em vegetação secundária de terra firme (Nelson *et al.*, 1999; Mesquita *et al.*, 2001; Feldpausch *et al.*, 2007), sobre platôs e geralmente se desenvolve sob a copa de outras pioneiras (Nascimento *et al.*, 2006) e bordas da floresta (obs. pes.), é possível que a baixa sobrevivência observada seja devido ao acúmulo de água no solo no início do experimento e à luz direta.

Desconsiderando-se a mortalidade no primeiro mês, após a estação chuvosa, em julho de 2007, a sobrevivência do lacre ficou em torno de 74%, sendo reduzida a 65% no final da estação seca, em dezembro do mesmo ano.

A ucuúba apresentou alta sobrevivência, em comparação com as demais espécies, mesmo no período inicial. Cinco meses após o replantio, a sobrevivência de *V. surinamensis* ficou em torno de 83%. Ao final da época seca, houve uma pequena redução para 74%. Contrariamente, na Estação Experimental de Silvicultura Tropical, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), parcelas experimentais com plantio em pleno sol de ucuúba

apresentaram 4% de sobrevivência após seis anos (Clay *et al.*, 2000). No entanto, em outro plantio em pleno sol, a espécie desenvolveu-se rapidamente, mantendo alta sobrevivência (92%), após a fase de adaptação (Neves & Gonçalves, 2003). Por ser uma espécie que ocorre principalmente em florestas alagadiças (Harms *et al.*, 2001), a maior sobrevivência da ucuúba em relação às demais espécies pode ser devido às características de seu nicho de regeneração, conferindo-lhe maior adaptação às condições de umidade do solo das áreas degradadas em estudo.

Crescimento inicial

Durante os onze meses de acompanhamento, o lacre (*Vismia japurensis*) apresentou maior crescimento médio em altura de 26,5 cm, seguido pela ucuúba (*Virola surinamensis*), com 17,7 cm; goiaba-de-anta (*Bellucia grossularioides*), com 13,0 cm; e, por último, a copaíba (*Copaifera multijuga*), com apenas 2,9 cm. Quanto ao diâmetro, a média do lacre e da goiaba-de-anta foi de 3,0 mm, a da ucuúba foi de 2,0 mm e a da copaíba foi de -0,4 mm.

Em geral, os melhores resultados em crescimento absoluto foram obtidos na ausência de calagem e na aplicação de 1 t/ha de calcário dolomítico (Tabela 1), apesar de não significativos ($P > 0,05$). A dose de 2 t/ha, em valores absolutos, apresentou os menores resultados. É importante lembrar que, mesmo antes da calagem, bem como no tratamento controle, o pH e o teor de cálcio do solo já eram bastante elevados, possivelmente satisfazendo os requerimentos das plantas (Capítulo I).

Tabela 1 - Efeito de doses de calcário (0t/ha; 1t/ha; 2t/ha) e de formulados de adubo (NPK 10-10-10; NPK 10-30-10) sobre o crescimento de espécies florestais, onze meses após o plantio, em três áreas degradadas por atividade petrolífera na região do rio Urucu, Coari, Amazonas (médias \pm desvio-padrão).

Crescimento absoluto em altura (cm)		0 t/ha	1 t/ha	2 t/ha
<i>Bellucia grossularioides</i>	NPK 10-10-10	16,95 \pm 24,1 Aa	7,91 \pm 16,1Aa	11,79 \pm 13,2 Aa
	NPK 10-30-10	11,40 \pm 12,9 Aa	15,55 \pm 23,7 Aa	13,88 \pm 12,8 Aa
<i>Vismia japurensis</i>	NPK 10-10-10	33,11 \pm 24,9 Aa	24,25 \pm 17,6 Aa	25,01 \pm 18,4 Aa
	NPK 10-30-10	24,96 \pm 17,6 Aa	27,35 \pm 18,5 Aa	25,09 \pm 17,7 Aa
<i>Copaifera multijuga</i>	NPK 10-10-10	2,40 \pm 4,5 Aa	3,23 \pm 3,5 Aa	2,27 \pm 4,0 Aa
	NPK 10-30-10	3,39 \pm 4,6 Aa	3,18 \pm 3,9 Aa	2,71 \pm 5,2 Aa
<i>Virola surinamensis</i>	NPK 10-10-10	16,54 \pm 12,2 Aa	16,27 \pm 15,1 Aa	14,89 \pm 12,6 Aa
	NPK 10-30-10	20,05 \pm 16,2 Ab	20,36 \pm 14,0 Ab	18,28 \pm 12,7 Ab
Crescimento absoluto em diâmetro (mm)				
<i>Bellucia grossularioides</i>	NPK 10-10-10	3,78 \pm 6,1 Aa	2,14 \pm 4,0 Aa	2,33 \pm 4,6 Aa
	NPK 10-30-10	2,42 \pm 4,9 Aa	3,35 \pm 7,2 Aa	3,78 \pm 5,2 Aa
<i>Vismia japurensis</i>	NPK 10-10-10	4,47 \pm 6,3 Aa	1,78 \pm 4,2 Aa	3,22 \pm 4,0 Aa
	NPK 10-30-10	2,40 \pm 3,6 Aa	3,50 \pm 5,1 Aa	2,88 \pm 4,4 Aa
<i>Copaifera multijuga</i>	NPK 10-10-10	-0,38 \pm 0,9 Aa	-0,38 \pm 0,8 Aa	-0,68 \pm 0,8 Aa
	NPK 10-30-10	-0,22 \pm 1,0 Aa	-0,29 \pm 1,0 Aa	-0,50 \pm 1,0 Aa
<i>Virola surinamensis</i>	NPK 10-10-10	0,86 \pm 5,3 Aa	1,26 \pm 4,3 Aa	1,90 \pm 4,2 Aa
	NPK 10-30-10	2,94 \pm 4,3 Ab	2,33 \pm 5,4 Ab	3,04 \pm 4,5 Ab
Crescimento relativo em altura (cm cm⁻¹ mês⁻¹)				
<i>Bellucia grossularioides</i>	NPK 10-10-10	0,011 \pm 0,01 Aa	0,007 \pm 0,02 Aa	0,009 \pm 0,01 Aa
	NPK 10-30-10	0,008 \pm 0,01 Aa	0,010 \pm 0,02 Aa	0,010 \pm 0,01 Aa
<i>Vismia japurensis</i>	NPK 10-10-10	0,023 \pm 0,01 Aa	0,019 \pm 0,01 Aa	0,018 \pm 0,01 Aa
	NPK 10-30-10	0,018 \pm 0,01 Aa	0,019 \pm 0,01 Aa	0,018 \pm 0,01 Aa
<i>Copaifera multijuga</i>	NPK 10-10-10	0,005 \pm 0,01 Aa	0,008 \pm 0,01 Aa	0,004 \pm 0,01 Aa
	NPK 10-30-10	0,007 \pm 0,01 Aa	0,008 \pm 0,01 Aa	0,006 \pm 0,01 Aa
<i>Virola surinamensis</i>	NPK 10-10-10	0,017 \pm 0,01 Aa	0,017 \pm 0,02 Aa	0,016 \pm 0,01 Aa
	NPK 10-30-10	0,019 \pm 0,02 Ab	0,020 \pm 0,02 Ab	0,020 \pm 0,01 Ab
Crescimento relativo em diâmetro (mm mm⁻¹ mês⁻¹)				
<i>Bellucia grossularioides</i>	NPK 10-10-10	0,021 \pm 0,02 Aa	0,016 \pm 0,01 Aa	0,015 \pm 0,02 Aa
	NPK 10-30-10	0,016 \pm 0,01 Aa	0,020 \pm 0,02 Aa	0,020 \pm 0,02 Aa
<i>Vismia japurensis</i>	NPK 10-10-10	0,023 \pm 0,02 Aa	0,015 \pm 0,02 Aa	0,015 \pm 0,01 Aa
	NPK 10-30-10	0,017 \pm 0,01 Aa	0,020 \pm 0,02 Aa	0,019 \pm 0,02 Aa
<i>Copaifera multijuga</i>	NPK 10-10-10	-0,0030 \pm 0,01 Aa	-0,0034 \pm 0,01 ABa	-0,0058 \pm 0,01 Ba
	NPK 10-30-10	-0,0018 \pm 0,01 Aa	-0,0022 \pm 0,01 ABa	-0,0049 \pm 0,01 Ba
<i>Virola surinamensis</i>	NPK 10-10-10	0,016 \pm 0,01 Aa	0,015 \pm 0,01 Aa	0,016 \pm 0,01 Aa
	NPK 10-30-10	0,018 \pm 0,01 Ab	0,019 \pm 0,01 Ab	0,020 \pm 0,01 Ab

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na linha, indicam que não há diferenças significativas entre as doses de calcário pelo Teste de Tukey ($P < 0,05$). Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna, indicam que não há diferenças significativas entre as formulações de adubo NPK pelo Teste de F ($P < 0,05$).

O crescimento em altura e em diâmetro de *V. surinamensis* foi significativamente maior nas plantas adubadas com NPK 10-30-10 ($P < 0,05$; Tabela 1). O desempenho desta espécie, tanto em crescimento como em sobrevivência, poderia ainda ser melhorado, se introduzida em ambiente sombreado (Galuppo & Carvalho, 2001; Palomaki *et al.*, 2006), como em plantios de enriquecimento. O sombreamento induziu um maior crescimento das mudas de ucuúba, 120 dias após a semeadura, comparado a mudas cultivadas sob radiação plena (Lima *et al.*, 2007).

No plantio, apenas o crescimento relativo em diâmetro de *C. multijuga* respondeu negativamente ao aumento das doses de calcário, pois a dose de 2 t/ha de calcário reduziu significativamente o crescimento em relação ao controle ($P < 0,02$). Contrariamente, em condições de casa de vegetação, o P e o Ca mostraram-se limitantes ao crescimento de plântulas de *Copaifera langsdorffii* (Venturin *et al.*, 1996). Não houve efeito da formulação do adubo sobre o crescimento da copaíba.

Os valores negativos no crescimento em diâmetro podem ser decorrentes do estresse hídrico sofrido pelas plantas durante o período seco. Os valores negativos em altura, principalmente da copaíba, podem ser reflexo de danos mecânicos durante as capinas (remoção da vegetação espontânea), visto que, o pequeno porte desta espécie dificultava a localização das plantas nas parcelas e muitas foram cortadas acidentalmente. Em plantas de goiaba-de-anta, lacre e ucuúba observou-se ainda a morte dos botões terminais.

Plantios de *C. multijuga* em plena abertura e pastagem apresentaram melhores resultados quanto ao crescimento do que plantios sob sombra da

floresta (Loureiro *et al.*, 1979; Elias, 1997). Portanto, seu crescimento aqui observado, pode ter sido inibido pelas condições de degradação do solo.

Avaliando separadamente as taxas de crescimento por época do ano, independente dos tratamentos, foi observado que o crescimento da maioria das espécies no período chuvoso (fevereiro a julho) foi superior ao do período seco (julho a dezembro). Estas diferenças ocorreram tanto para altura (diferença média de 7,9 cm) como para o diâmetro (diferença média de 2,8 mm; $P < 0,01$, Teste t). O crescimento reduzido no período seco pode ser decorrente da elevada luminosidade e deficiência hídrica na estação seca, que inclusive provocou a queima dos ponteiros em algumas plantas, com posterior rebrota dos indivíduos sobreviventes. Ribeiro (2008) ao descrever o clima da região Urucu, afirma que há um excedente de água no solo de janeiro a junho e de novembro a dezembro, e deficiência de água no solo apenas entre julho e outubro. No entanto, estudo realizado na região pelo período de seis meses, comparando o efeito das épocas de plantio sobre o crescimento das plantas mostrou que o crescimento em diâmetro e altura foi maior na época seca, devido à maior disponibilidade de luz e às melhores condições de aeração dos solos compactados e impermeáveis das áreas (Leal Filho *et al.*, 2004).

Outra possível causa para o crescimento reduzido no período seco pode ser a perda de nutrientes do solo. Os nutrientes incorporados ao solo na época do plantio foram absorvidos pelas plantas ou lixiviados ao longo da estação chuvosa, prejudicando o crescimento durante a estação seca. A metodologia utilizada para o reflorestamento de áreas degradadas em Urucu previa a

adubação de manutenção seis meses após o plantio, que não foi feita neste experimento.

Analisando por época, também foi possível identificar quando os efeitos se manifestaram sobre o crescimento das plantas. O efeito do formulado de adubo sobre o crescimento de *V. surinamensis* ocorreu no período chuvoso (fevereiro a julho/2007) e se manteve apenas para o diâmetro relativo durante o período seco (julho a dezembro/2007). O efeito negativo das doses de calcário sobre o crescimento da *C. multijuga* se manifestou na época seca.

As espécies pioneiras apresentaram maior crescimento absoluto em altura em relação às clímax, independente dos tratamentos ($P < 0,01$). Da mesma forma, as pioneiras tiveram maior crescimento absoluto e relativo em diâmetro, que as clímax ($P = 0,03$), independente das doses de calcário e formulações de adubo.

As diferenças no crescimento entre pioneiras e clímax, evidenciaram as características ecológicas destes grupos (Swaine & Whitmore, 1988; Botelho *et al.*, 1996). As pioneiras têm rápido crescimento e altas taxas fotossintéticas, que fornecem carbono e energia para seu crescimento. A alta aquisição de carbono e nutrientes necessária para dar suporte ao rápido crescimento destas espécies é melhor atingida num ambiente fértil (Chapin, 1980). As clímax apresentam taxas de crescimento inerentemente baixas, mantidas pela baixa capacidade fotossintética e absorção de nutriente, sendo eficientes competidoras, acumulando localmente os recursos limitados (Horn, 1974; Chapin, 1980).

Além das características funcionais envolvidas no grupo ecológico, o requerimento de P pode estar associado a diversos fatores, como o grau de desenvolvimento do sistema radicular, a dependência micorrízica, a taxa de crescimento e o estágio de desenvolvimento da planta (Marschner, 1991; Zangaro *et al.*, 2003).

O crescimento no presente estudo, pouco influenciado pela correção da acidez do solo, sugere uma possível adaptação das plantas aos solos ácidos (Marschner, 1991) ou um rígido ajuste da taxa de crescimento às condições de baixa disponibilidade de nutrientes, que restringe sua resposta à melhoria nos níveis de fertilidade do solo (Resende *et al.*, 2000). No caso das espécies clímax, a resposta pode ser decorrente de fatores evolutivos, tal como a pouca exigência de minerais devido a seu lento de crescimento (Zangaro *et al.*, 2003). Já as pioneiras são adaptadas a um nicho ecológico diferente das espécies clímax, seu crescimento rápido em altura aumenta sua possibilidade ocupar uma clareira (Horn, 1974; Swaine & Whitmore, 1988). Portanto, a adição de Ca e Mg deveriam estimular o crescimento deste grupo de plantas (Fetcher *et al.*, 1996; Raaimakers & Lambers, 1996; Resende *et al.*, 1999, 2000; Lawrence, 2003), o que no presente estudo não foi observado.

Alguns experimentos mostraram um efeito positivo da calagem no crescimento de pioneiras e secundárias, e o crescimento das espécies clímax pouco influenciado (Furtini Neto *et al.*, 1999a, 1999b; Bigelow & Canham, 2007). Outras espécies, independentemente do grupo sucessional, apresentaram maior crescimento na ausência de calagem (Ulhôa, 1997). A divergência nas respostas entre pioneiras e clímax mostra que o requerimento

de nutrientes pelas plantas pode ser diferenciado entre os grupos ou específico, o que dificulta a adoção de um padrão de fertilização em plantios florestais mistos comerciais ou de recuperação de áreas degradadas.

No presente estudo, a falta de uma resposta clara das plantas à adubação e à calagem pode ser devido à degradação física do solo. A compactação do solo tem efeito negativo ao desenvolvimento vegetal, por inibir o crescimento radicular, diminuir a porosidade, reduzir a infiltração de água e sua disponibilidade para as plantas, aumentar o escoamento superficial e, conseqüentemente, elevar os riscos de erosão (Teixeira *et al.*, 2006; Casagrande & Soares, 2007) e reduzir a permanência dos fertilizantes no solo. Além disso, a simples disponibilidade dos minerais não garante um solo produtivo, mas são necessárias condições para absorção e aproveitamento destes nutrientes pelas plantas, como água no solo para solubilizar os nutrientes e espaço para a raiz se desenvolver (Primavesi, 1981).

A elevada mortalidade também pode ter prejudicado a obtenção de respostas mais significativas. Além disso, antes da aplicação da calagem já havia um alto teor de Ca^{2+} no solo das jazidas, o que pode ter feito com que as plantas se mostrassem indiferentes à aplicação de calcário. É possível que, com um período maior de acompanhamento, as diferenças entre os tratamentos se manifestem ou se confirme que as espécies utilizadas são capazes de se estabelecer sobre solos ácidos e pobres em nutrientes.

Os resultados obtidos mostram que o sucesso da recuperação ambiental, nas condições estudadas, depende não somente de um aumento dos teores de nutrientes, mas também ao manejo das propriedades físicas do

solo que permitam os fluxos de ar, água e calor de forma mais efetiva (Teixeira *et al.*, 2006; Casagrande & Soares, 2007).

4.4 Conclusões

No período de observação de apenas onze meses, não houve efeito do adubo e das doses de calcário sobre a sobrevivência das plantas, nem diferenças entre os grupos sucessionais.

Observaram-se diferenças significativas entre espécies, sendo em ordem crescente: *Copaifera multijuga* < *Bellucia grossularioides* < *Vismia japurensis* < *Virola surinamensis*.

V. surinamensis apresentou crescimento significativamente maior sob adubação com NPK 10-30-10 em relação ao NPK 10-10-10. Nas demais espécies o resultado não foi significativo.

Quanto às doses de calcário, a ausência de calagem resultou em maior crescimento relativo em diâmetro do que a dose de 2 t/ha em *C. multijuga*.

Os resultados das quatro espécies estudadas indicam, por enquanto, a possibilidade de reduzir a dosagem da calagem de 2 t para 1 t/ha, na recuperação de áreas degradadas com semelhante histórico de uso das utilizadas no presente estudo e desde que feita a manutenção do plantio. Com relação ao adubo, entretanto, há necessidade de acompanhamento por um período maior para verificar se é possível fazer outras adequações.

5. CONCLUSÃO

Com relação à fertilidade do solo, a calagem promoveu maior disponibilidade de magnésio, porém, o pH e o teor de cálcio não variaram entre as doses de calcário, devido aos elevados valores iniciais. O adubo NPK 10-30-10 disponibilizou maior quantidade de fósforo no solo do que o NPK 10-10-10.

Das quatro espécies estudadas, somente *B. grossularioides* apresentou relação positiva nos teores de cálcio e de fósforo em resposta às doses de calcário e formulação de adubo, porém não refletindo no seu crescimento.

A sobrevivência das espécies não sofreu efeito dos tratamentos.

Apenas *V. surinamensis* apresentou crescimento significativamente maior sob adubação com NPK 10-30-10 em relação ao NPK 10-10-10, principalmente nos primeiros meses de avaliação.

Para *C. multijuga*, a ausência de calagem resultou em maior crescimento relativo em diâmetro do que a dose de 2 t/ha.

Considerando-se os resultados obtidos, sugere-se, por um lado, a possibilidade de aplicar dose de 1 t/ha de calcário, mantendo o uso do formulado 10-30-10 na recuperação de áreas degradadas de Urucu com semelhante histórico de uso das utilizadas no presente estudo e desde que feita a manutenção do plantio. Por outro lado, há a necessidade de aprofundar o trabalho ou acompanhá-lo por um período maior, visto que outros fatores podem ter encoberto as respostas das espécies aos tratamentos e os resultados obtidos até o momento podem se limitar a esta fase inicial, ou os efeitos mais significativos podem surgir a longo prazo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albuquerque, J. A.; Bayer, C.; Ernani, P. R.; Mafra, A. L.; Fontana, E. C. 2003. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:799-806.
- Arruda, W. C. 2005. *Estimativa dos processos erosivos na Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Urucu - Coari – Amazonas*. Dissertação de Mestrado, UFAM, Manaus, Amazonas, 80p.
- Azambuja, J. M. V. 1996. *O solo e o clima na produtividade agrícola*. Guaíba, Agropecuária. 164p.
- Baillie, I. C. 1996. Soil of the humid tropics. In: Richards, P. W. *The tropical rain forest: an ecological study*. 2 ed. Cambridge University Press, p. 256-286.
- Baker, T. R.; Swaine, M. D.; Burslem, D. F. R. P. 2003. Variation in tropical forest growth rates: combined effects of functional group composition and resource availability. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 6: 21–36.
- Bigelow, S. W.; Canham, C. D. 2007. Nutrient limitation of juvenile trees in a northern hardwood forest: Calcium and nitrate are preeminent. *Forest Ecology and Management*, 243: 310–319.
- Bitar, O. Y. 1997. *Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na região metropolitana de São Paulo*. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 184p.
- Botelho, S. A.; Davide, A. C. 2002. Métodos silviculturais para a recuperação de nascentes e recomposição de matas ciliares. In: *V Simpósio Nacional sobre recuperação de áreas degradadas*. Belo Horizonte (MG), p. 123-145.
- Botelho, S. A.; Davide, A. C.; Faria, J. M. R. 1996. Desenvolvimento inicial de seis espécies florestais nativas em dois sítios, na região sul de minas gerais. *Cerne*, 2(1): 4-13.

- Brokaw, N. V. L. 1985. Gap-phase regeneration in a tropical forest. *Ecology*, 66(3):682-687.
- Burslem, D. F. R. P.; Grubb, P. J.; Turner, I. M. 1995. Responses to Nutrient Addition among Shade-Tolerant Tree Seedlings of Lowland Tropical Rain Forest in Singapore. *The Journal of Ecology*, 83(1): 113-122.
- Casagrande, J. C.; Soares, M. R. 2007. Recuperação de solos degradados: interação solo-planta. In: Barbosa, L. M.; Santos Junior, N. A. dos (org.). *A Botânica no Brasil: pesquisa, ensino e políticas públicas ambientais*. Sociedade Botânica do Brasil, São Paulo, SP, p. 53-57.
- Chapin, F. S. 1980. The Mineral Nutrition of Wild Plants. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 11: 233-260.
- Clay, J.; Sampaio, P. T. B.; Clement, C. R. 2000. *Biodiversidade amazônica: exemplos e estratégias de utilização*. Programa de Desenvolvimento Empresarial e Tecnológico, Manaus, Amazonas, p. 206-215.
- Connell, J. H. 1989. Some Processes Affecting the Species Composition in Forest Gaps. *Ecology*, 70(3): 560-562.
- Crestana, M. S. M. (org.); Ferretti, A. R.; Toledo Filho, D. V.; Árbocz, G. F.; Schmidt, H. A. P.; Guardia, J. F. C. 2004. *Florestas: sistemas de recuperação com essências nativas, produção de mudas e legislações*. 2 ed. Campinas, CATI. 216p.
- Demattê, J. L. I. 2000. Solos. In: Salati, E.; Absy, M. L.; Vistoria, R. L. *Amazônia: um ecossistema em transformação*. INPA, Manaus, AM, p.119-162.
- Denslow, J. S. 1987. Tropical rainforest gaps and tree species diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 18:431-451.
- Duboc, E.; Venturin, N.; Vale, F. R. do; Davide, A. C. 1996. Nutrição do jatobá (*Hymenae courbaril* L. var. *stilbocarba* (Haene) Lee et Lang). *Cerne*, 2(1): 138-152.
- Dias, L. E.; Alvarez, V. H.; Jucksch, I.; Barros, N. F.; Brienza Junior, S. 1991. Formação de mudas de taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* Voguel). 1. Resposta a calcário e fósforo. *Pesq. agropec. bras.*, 26(1):69-71.
- Elias, M. E. de A. 1997. *Estabelecimento de plântulas de Copaifera multijuga Hayne - (Caesalpiniaceae) em fragmentos florestais e estádios de*

- sucessão*. Dissertação de Mestrado, INPA/UFAM, Manaus, Amazonas. 116 p.
- EMBRAPA. 1999. Sistema brasileiro de classificação de solos. – Rio de Janeiro : EMBRAPA-SPI, 412p.
- Falcão, N. P. S.; Ferreira, D. S.; Pardo, N. S. B. 2004. Caracterização da fertilidade de solos sob floresta primária e em clareiras reflorestadas com diferentes idades na Base Petrolífera de Urucu. *In: I Workshop Técnico Científico da Rede CTPetro Amazônia - FINEP/CNPq/ PETROBRAS/INPA. Resumos*. Manaus: INPA (CD-ROM).
- Faria, J. M. R. 1996. *Comportamento de espécies florestais em diferentes sítios e adubações de plantio*. Dissertação de Mestrado, UFLA, Lavras, Minas Gerais. 108p.
- Fearnside, P. M. 2003. *A floresta amazônica nas mudanças globais*. Manaus, INPA, 134p.
- Feldpausch, T. R.; Prates-Clark, C. C.; Fernandes, E. C. M. ; Riha, S. J. 2007. Secondary forest growth deviation from chronosequence predictions in central Amazonia. *Global Change Biology*, 13: 967–979.
- Ferraz, I. D. K.; Leal Filho, N.; Imakawa, A. M.; Varela, V. P.; Piña-Rodrigues, F. C. M. 2004. Características básicas para um agrupamento ecológico preliminar de espécies madeireiras da floresta de terra-firme da Amazônia Central. *Acta Amazonica*, 34(4): 621-633.
- Ferraz, J.; Suzuki, T. 1998. O Projeto Jacaranda e seu contexto na recuperação de áreas degradadas na Amazônia Central. *In: Higuchi, N.; Campos, M. A. A.; Sampaio, P. T. B.; Santos, J. (eds.). Pesquisas florestais para a conservação da floresta e reabilitação de áreas degradadas da Amazônia*. Manaus, INPA, p. 17-25.
- Ferreira, P. H. M. 1992. *Princípios de manejo e de conservação do solo*. São Paulo, Nobel, 135p.
- Fetcher, N.; Haines, B. L.; Cordero, R. A.; Lodge, D. J.; Walker, L. R.; Fernandez, D. S.; Lawrence, W. T. 1996. Responses of Tropical Plants to Nutrients and Light on a Landslide in Puerto Rico. *The Journal of Ecology*, 84(3): 331-341.

- Furtini Neto, A. E.; Resende, A. V. de; Vale, F. R. do; Faquin, V.; Fernandes, L. A. 1999a. Acidez do solo, crescimento e nutrição mineral de algumas espécies arbóreas, na fase de muda. *Cerne*, 5(2): 1-12.
- Furtini Neto, A. E.; Resende, A. V.; Vale, F. R.; Silva, I. R. 1999b. Liming effects on growth of native woody species from Brazilian Savannah. *Pesq. agropec. bras.*, 34(5): 829-837.
- Furtini Neto, A. E.; Siqueira, J. O.; Curi, N.; Moreira, F. M. S. 2000. Fertilização em reflorestamento com espécies nativas. *In: Gonçalves, J. L. M.; Benedetti, V. Nutrição e fertilização florestal*. Piracicaba (SP), IPEF, p. 351-383.
- Galuppo, S. C.; Carvalho, J. O. P. 2001. *Ecologia, manejo e utilização da Virola surinamensis Rol. (Warb.)*. Documentos N° 74. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 38 p.
- Harms, K. E.; Condit, R.; Hubbell, S. P.; Foster, R. B. 2001. Habitat associations of trees and shrubs in a 50-ha neotropical forest plot. *Journal of Ecology*, 89: 947-959.
- Horn, H. S. 1974. The Ecology of Secondary Succession. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 5: 25-37.
- Hunt, R. 1982. *Plant growth curves: the functional approach to plant growth analysis*. Edward Arnold, London, 300p.
- IBGE. 2005. *Manual técnico de Pedologia*. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 2 ed. Rio de Janeiro, IBGE, 300p.
- Lamb, D.; Erskine, P. D.; Parrota, J. A. 2005. Restoration of degraded Tropical Forest Landscapes. *Science*, 310(5754): 1628-1632.
- Larcher, W. 2006. A utilização dos elementos minerais. *Ecofisiologia vegetal*. Tradutor: Prado, C. H. B. de A. São Paulo, Rima, p. 183-230.
- Lawrence, D. 2003. The response of tropical tree seedlings to nutrient supply: meta-analysis for understanding a changing tropical landscape. *Journal of Tropical Ecology*, 19:239–250.
- Leal Filho, N.; Alencar, R. M.; Leme, R.; Gribel, R.; Melo Neto, A. G. 2004. Efeito da Época de Plantio e de Dois Tipos de Adubação Sobre o Desenvolvimento da Vegetação no Processo de Recuperação de Áreas Degradadas em Urucu, AM. *In: I Workshop Técnico Científico da Rede*

- CTPetro Amazônia - FINEP/CNPq/ PETROBRAS/INPA. *Resumos*. Manaus: INPA (CD-ROM).
- Lima, J. D.; Silva e Silva; B. M. da; Moraes, W. da S. 2007. Efeito da intensidade de luz no crescimento de mudas de *Virola surinamensis* (Rol.) Warb. *Publ. UEPG Ci. Exatas Terra, Ci. Agr. Eng.*, 13 (2): 39-45.
- Lima Filho, D. A.; Matos, F. D. A.; Amaral, I. L.; Revilla, J.; Coelho, L. S.; Ramos, J. F. & Santos, J. L. 2001. Inventário florístico de Floresta Ombrófila Densa de terra firme, na região do Rio Urucu, Amazonas, Brasil. *Acta Amazonica*, 31(4): 565-579.
- Loureiro, A. A.; Silva, M. F.; Alencar, J. C. 1979. *Essências madeireiras da Amazônia*. Vol. 1. Manaus, Amazonas, INPA, p. 133-135.
- Lugo, A. E. 1990. Tree plantations for rehabilitating damaged forest lands in the tropics. *In: Wali, M. K. Environmental Rehabilitation*, SBP Academic Publishing, p. 321-329.
- Marenco, R. A.; Lopes, N. F. 2005. Nutrição mineral. *Fisiologia vegetal*. Viçosa, UFV, p. 249-329.
- Marques, T. C. L. L. de S. e M.; Carvalho, J. G. de; Lacerda, M. P. C.; Mota, P. E. F. 2004. Exigências nutricionais do paricá (*Schizolobium amazonicum* Herb.) na fase de muda. *Cerne*, 10(2): 167-183.
- Marschner, H. 1991. Mechanisms of adaptation of plants to acid soils. *Plant and Soil* 134(1):1-20.
- Marschner, H., 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*, 2nd Ed. Academic Press, San Diego, 889 pp.
- Melo, F. P. L.; Neto, A. V. A.; Simabukuro, E. A.; Tabarelli, M. 2004. Recrutamento e estabelecimento de plântulas. *In: Ferreira, A. G.; Borghetti, F. (orgs.). Germinação: do básico ao aplicado*. Porto Alegre: Artmed, p. 237-250.
- Mesquita, R. C. G.; Ickes, K.; Ganade, G.; Williamson, G. B. 2001. Alternative successional pathways in the Amazon Basin. *Journal of Ecology*, 89: 528–537.
- Ministério das Minas e Energia. 1978. Departamento Nacional da Produção Mineral. *Levantamento de recursos naturais: Projeto Radambrasil*, Folha SB-20, Purus. Rio de Janeiro, Vol. 17, 573 p.

- Moreira, A.; Costa, D. G. 2004. Dinâmica da matéria orgânica na recuperação de clareiras da floresta amazônica. *Pesq. agropec. bras.*, 39(10): 1013-1019.
- Moreira, A.; Teixeira, W. G.; Martins, G. C. 2006. Limitações da fertilidade do solo e uso de fertilizantes e composto orgânico no reflorestamento das áreas de clareiras do Pólo Petrolífero do Urucu, Amazonas. *In: II Workshop Temático da Rede CTPetro Amazônia - FINEP/CNPq/PETROBRAS/INPA. Resumos*. Manaus: INPA (CD-ROM).
- Nascimento, H. E. M.; Andrade, A. C. S.; Camargo, J. L. C.; Laurance, W. F.; Laurance, S. G.; Ribeiro, J. E. L. 2006. Effects of the surrounding matrix on tree recruitment in Amazonian forest fragments. *Conservation Biology*, 20(3): 853–860.
- Nelson, B. W.; Mesquita, R. C. G.; Pereira, J. L. G.; Souza, S. G. A.; Batista, G. T.; Couto, L. B. 1999. Allometric regressions for improved estimate of secondary forest biomass in the central Amazon. *Forest Ecology and Management*, 117: 149-167.
- Neves, E. J. M.; Gonçalves, E. M. 2003. Aspectos silviculturais e nutricionais de *Virola surinamensis* (ROL.) Warb plantada em Latossolo Amarelo da Amazônia Ocidental. EMBRAPA, *Comunicado Técnico*, nº 99, Colombo (PR), 3p.
- Osaki, F. 1991. *Calagem e adubação*. 2 ed. Campinas, SP, Instituto Brasileiro de Ensino Agrícola. 526p.
- Palomaki, M. B.; Chazdon, R. L.; Arroyo, J. P.; Letcher, S. G. 2006. Juvenile tree growth in relation to light availability in second-growth tropical rain forests. *Journal of Tropical Ecology*, 22: 223–226.
- Parrota, J. A.; Knowles, O. H. 1999. Restoration of Tropical Moist Forests on bauxite-mined lands in the Brazilian Amazon. *Restoration Ecology*, 7(2): 103-116.
- Parrota, J. A.; Turnbull, J. W.; Jones, N. 1997. Catalyzing native forest regeneration of degraded tropical lands. *Forest Ecology and Management*, 99:1-7.
- Prado, R. M. 2003. *A calagem e as propriedades físicas de solos tropicais: revisão de literatura*. Disponível em:

- <<http://www.unitau.br/prppg/publica/biocienc/downloads/acalagem-N3-2003.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2006.
- Primavesi, A. 1981. *O manejo ecológico do solo: agricultura em regiões tropicais*. 3 ed. São Paulo: Nobel, 549p.
- Quaggio, J. A. 2000. *Acidez e calagem em solos tropicais*. Campinas, SP, Instituto Agrônomo, 111p.
- Raaimakers, D.; Lambers, H. 1996. Response to phosphorus supply of tropical tree seedlings: a comparison between a pioneer species *Tapiria obtusa* and a climax species *Lecythis corrugata*. *New Phytologist*, 132: 97-102.
- Reis, A.; Zambonin, R. M.; Nakazono, E. M. 1999. *Recuperação de áreas degradadas utilizando a sucessão e as interações planta-animal*. Conselho Nacional da Reserva de Biosfera da Mata Atlântica. Série Recuperação. 43p.
- Resende, A. V.; Furtini Neto, A. E.; Muniz, J. A.; Curi, N.; Faquin, V. 1999. Crescimento inicial de espécies florestais de diferentes grupos sucessionais em resposta a doses de fósforo. *Pesq. agropec. bras.*, 34(11): 2071-2081.
- Resende, A. V.; Furtini Neto, A. E.; Curi, N.; Muniz, J. A.; Faria, M. R. 2000. Acúmulo e eficiência nutricional de macronutrientes por espécies florestais de diferentes grupos sucessionais em resposta à fertilização fosfatada. *Ciênc. agrotec.*, 24(1):160-173.
- Ribeiro, G. A. A.; Teixeira, P. C.; Rodrigues, M. R. L. 2006. Caracterização das propriedades químicas de diferentes solos da Província Petrolífera da Bacia do rio Urucu – AM. In: II Workshop Temático da Rede CTPetro Amazônia - FINEP/CNPq/ PETROBRAS/INPA. *Resumos*. Manaus: INPA (CD-ROM).
- Ribeiro, J. B. M. 2008. *O Clima da região de Urucu*. Mensagem pessoal. Mensagem recebida por: <sherontm@ig.com.br> em 21 maio 2008.
- Rodrigues, T. E. 1996. Solos da Amazônia. In: Alvarez, H. V.; Fontes, L. E. F. *O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/UFV, p. 19-60.

- Saad, O. 1989. *Máquinas e técnicas de preparo inicial do solo*. 4 ed. São Paulo, Nobel, p. 79-98.
- Sanchez, P. A.; Bandy, D. E.; Villachica, J. H.; Nicholaidis, J. J. 1982. Amazon Basin Soils: Management for Continuous Crop Production. *Science*, 216 (4548): 821-827.
- Santos Junior, U. M.; Gonçalves, J. F. C.; Feldpausch, T. R. 2006. Growth, leaf nutrient concentration and photosynthetic nutrient use efficiency in tropical tree species planted in degraded areas in central Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 226:299–309.
- Schubart, H. O. R.; Franken, W.; Luizão, F. J. 1984. Uma floresta sobre solos pobres. *Ciência Hoje*, 2(10): 26-32.
- Silva, C. A.; Vale, F. R. 2000. Disponibilidade de nitrato em solos brasileiros sob efeito da calagem e de fontes e doses de nitrogênio. *Pesq. agropec. bras.*, 35(12): 2461-2471.
- Silva, C. E. M. Gonçalves, J. F. C.; Feldpausch, T. R.; Luizão, F. J.; Morais, R. R., Ribeiro, G. O. 2006. Eficiência no uso dos nutrientes por espécies pioneiras crescidas em pastagens degradadas na Amazônia central. *Acta Amazonica*, 36(4): 503-512.
- Silva, F. C. (org.). 1999. Manual de análise química dos solos, plantas e fertilizantes. EMBRAPA, Brasília, p.77-166.
- Silva, O. 1997. *Fertilizantes, corretivos e solos: o tripé das plantas*. Campinas, SP, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola. 55p.
- Souza, P. A.; Venturin, N.; Macedo, R. L. G.; Alvarenga, M. I. N.; Silva, V. F. 2001. Estabelecimento de espécies arbóreas em recuperação de área degradada pela extração de areia. *Cerne*, 7(2): 43-52.
- Swaine, M. D.; Whitmore, T. C. 1988. On the definition of ecological species groups in Tropical Rain Forests. *Vegetatio*, 75:81-86.
- Teixeira, W. G.; Martins, G. C.; Macedo, R. S. 2006. A qualidade física do solo como indicador da recuperação de áreas alteradas na Base Geólogo Pedro de Moura – Coari, AM. In: II Workshop Temático da Rede CTPetro Amazônia - FINEP/CNPq/ PETROBRAS/INPA. *Resumos*. Manaus: INPA (CD-ROM).
- Thornthwaite, C. W.; Matter, J. R. 1955. *The water balance*. Drexel Institute of Technology, Centerton, New Jersey. 104 p.

- Tomé Jr., J. B. 1997. *Manual para interpretação de análise do solo*. Guaíba: Agropecuária, 247p.
- Ulhôa, M. L. 1997. *Efeito da calagem e adubação fosfatada no crescimento inicial e nutrição de plantas de baru (Dipteryx alata Vog.), fruta-de-lobo (Solanum lycocarpum St. Hil) e tingui (Magonia pubescens St. Hil)*. Dissertação de Mestrado, UFLA, Lavras, Minas Gerais. 74p.
- Venturin, N.; Duboc, E.; Vale, F. R. do; Davide, A. C. 1996. Fertilização de plântulas de *Copaifera langsdorffii* Desf. (óleo copaíba). *Cerne*, 2(2):31-47.
- Venturin, N.; Duboc, E.; Vale, F. R. do; Davide, A. C. 1999. Adubação mineral do angico-amarelo (*Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub.). *Pesq. agropec. bras.*, 34(3): 441-448.
- Whitmore, T. C. 1989. Canopy gaps and the two major groups of forest trees. *Ecology*, 70: 536-538.
- Zangaro, W.; Nisizaki, S. M. A.; Domingos, J. C. B.; Nakano, E. M. 2003. Mycorrhizal response and successional status in 80 woody species from south Brazil. *Journal of Tropical Ecology* 19:315–324.