



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

**EFEITO DO MANEJO SOBRE A QUALIDADE DO
SUBSTRATO E O DESENVOLVIMENTO DE ESPÉCIES
ARBÓREAS DO CERRADO EM UMA CASCALHEIRA NO
DISTRITO FEDERAL**

Gustavo Henrique Marquim Firmo de Araujo

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS

**Brasília / DF
Março / 2006**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UnB
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA – FAV

**EFEITO DO MANEJO SOBRE A QUALIDADE DO
SUBSTRATO E O DESENVOLVIMENTO DE ESPÉCIES
ARBÓREAS DO CERRADO EM UMA CASCALHEIRA NO
DISTRITO FEDERAL**

GUSTAVO HENRIQUE MARQUIM FIRMO DE ARAUJO

ORIENTADOR: Prof. Ph. D. WENCESLAU J. GOEDERT

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS

Brasília / DF
Março / 2006

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UnB
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA – FAV**

**EFEITO DO MANEJO SOBRE A QUALIDADE DO SUBSTRATO E O
DESENVOLVIMENTO DE ESPÉCIES ARBÓREAS DO CERRADO EM UMA
CASCALHEIRA NO DISTRITO FEDERAL**

Gustavo Henrique Marquim Firmo de Araujo

DISSERTAÇÃO DE Mestrado submetida à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Ciências Agrárias na área de concentração de Gestão de Solo e Água.

APROVADA POR:

WENCESLAU J. GOEDERT, Ph.D., Professor Adjunto
Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – UnB, CPF: 005799550-87
E-mail: goedert@unb.br
(ORIENTADOR)

MARILUSA PINTO COELHO LACERDA, Dra., Professora Adjunta,
Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – UnB, CPF: 434760586-20
E-mail: marilusa@unb.br
(EXAMINADOR INTERNO)

LAÉRCIO LEONEL LEITE, Ph.D., Professor Universitário
Universidade Católica de Brasília – UCB, CPF: 166980886-68
E-mail: laercio@pos.ucb.br
(EXAMINADOR EXTERNO)

BRASÍLIA - DF, 09 de março de 2006.

FICHA CATALOGRÁFICA

Araujo, Gustavo Henrique Marquim Firmo de. Efeito do manejo sobre a qualidade do substrato e o desenvolvimento de espécies arbóreas do cerrado em uma cascalheira no Distrito Federal.

/ Gustavo Henrique Marquim Firmo de Araujo; orientação de Wenceslau J. Goedert. – Brasília, 2006.

83 p. : il.

Dissertação de Mestrado (M) – Universidade de Brasília / Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2006.

1. Recuperação de área degradada. 2. Mineração. 3. Revegetação. I. Goedert, W. J. II. Ph.D.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ARAUJO, G. H. M. F. **Efeito do manejo sobre a qualidade do substrato e o desenvolvimento de espécies arbóreas do Cerrado em uma cascalheira no Distrito Federal**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2006, 83 p. Dissertação de Mestrado.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Gustavo Henrique Marquim Firmo de Araujo

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Efeito do manejo sobre a qualidade do substrato e o desenvolvimento de espécies arbóreas do Cerrado em uma cascalheira no Distrito Federal.

GRAU: Mestre

ANO: 2006

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva-se a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Gustavo Henrique Marquim Firmo de Araujo

CPF: 603262711-04

Tel: (61) 34685009 / 32182010

gustavoh@brturbo.com.br

AGRADECIMENTOS

A todos os colegas e amigos do Departamento de Parques e Jardins da NOVACAP, em especial aos técnicos Leomar Arruda Silva e Raimundo Silva, ao engenheiro florestal Marco Aurélio Silva e ao engenheiro agrônomo Francisco Ozanan C. C. de Alencar, pelo apoio na condução do experimento e pelas orientações.

Aos colegas e amigos João Nicanildo Bastos dos Santos, Gutemberg Barone de Araújo Nojosa e à minha noiva, Alessandra Aparecida Beserra, pelo auxílio braçal nos testes de campo e na coleta dos dados.

Aos professores Rodrigo Studart Corrêa e Wenceslau J. Goedert, pelos ensinamentos e idéias, indispensáveis para a realização deste trabalho.

À professora Maria Lucrecia Gerosa Ramos, pelas idéias e orientações em microbiologia do solo; e a Manuel Messias Ferreira Lacerda, pelo apoio nas análises laboratoriais.

À professora Concepta Mc'Manus e ao colega Fabrício Santana Santos, pelas orientações estatísticas.

Ao colega e chefe Eduardo Sampaio Marques, pelo apoio, pelas orientações e por permitir que conciliasse o mestrado ao trabalho.

DEDICO

Ao meu pai

José Firmo de Araujo Filho (*in memoriam*);

Ao meu tio

Romero Linhares de Sá Marquim (*in memoriam*);

Pelo exemplo de vida e pelo incentivo que me
proporcionaram.

À minha família

Zuleide Marquim Firmo de Araujo

Ana Cláudia

Ana Catarina

Caio Rodrigo

Andréa Naritza

ÍNDICE

Capítulo / sub-capítulo	página
INTRODUÇÃO GERAL	1
OBJETIVOS	2
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
Degradação do solo	3
Aspectos gerais da atividade minerária no Distrito Federal	4
Reversão da degradação do solo / substrato	6
Recuperação de áreas degradadas pela mineração	7
Monitoramento e avaliação de áreas revegetadas	17
Avaliação da qualidade do solo e do substrato	18
Custo de recuperação de áreas mineradas de cascalheiras	20
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22
CAPÍTULO ÚNICO	28
RESUMO	29
ABSTRACT	30
INTRODUÇÃO	31
MATERIAL E MÉTODOS	33
Qualidade do substrato	37
Avaliação do desenvolvimento e sobrevivência do estrato arbóreo e herbáceo	40
Índice de Qualidade da Cascalheira (IQC)	41
Custo de revegetação da cascalheira	42
Benefício técnico da revegetação	42
Relação benefício técnico / custo financeiro	42
RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
Qualidade do substrato	43
Índice de qualidade do solo / substrato (IQS)	52
Desenvolvimento vegetativo	54
Índice de Valor de Cobertura (IVC)	65
Diversidade de espécies	65
Recuperação da cascalheira	66
Custo da revegetação	69
Benefício técnico versus custo financeiro da revegetação	69
Discussão geral	72
CONCLUSÕES	75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
ANEXO A. LOCALIZAÇÃO DA CASCALHEIRA	79
ANEXOS B. PLANILHAS DOS CUSTOS DE REVEGETAÇÃO	80

ÍNDICE DE TABELAS

	página
Tabela 1. Espécies arbóreas, nativas de cerrado, testadas nos quatro tratamentos e no controle.	36
Tabela 2. Características químicas e físicas, na profundidade de 0 a 20 cm, do solo do cerrado nativo e desmatado, e do substrato original da cascalheira, no Paranoá - DF.	37
Tabela 3. Características químicas do substrato da cascalheira, em fevereiro de 2004 e em abril de 2005, nas camadas de 0 a 20cm e 20 a 40cm, no Paranoá - DF. Médias de duas repetições.	46
Tabela 4. Características químicas do substrato das covas de plantio dos tratamentos 1, 2, 3, 4 da cascalheira e do controle na área de cerrado desmatado, um mês após calagem e adubação química e orgânica (fevereiro de 2004), e em abril de 2005, na profundidade de 0 a 40cm, no Paranoá - DF. Médias de duas repetições.	47
Tabela 5. Características químicas da camada de 0 a 20cm do substrato da cascalheira e do solo do cerrado nativo e desmatado, adjacentes à área do experimento, no Paranoá - DF, em fevereiro de 2004 e em abril de 2005. Médias de duas repetições.	48
Tabela 6. Atributos biológicos do solo do cerrado e do substrato da cascalheira, na camada de 0 a 10cm, em maio de 2004 e junho de 2005. Médias de 3 repetições.	50
Tabela 7. Atributos biológicos da camada de 0 a 10cm das covas de <i>I. marginata</i> e <i>S. oleraceae</i> na cascalheira e no cerrado desmatado, em Paranoá – DF, em maio de 2004 e junho de 2005. Médias de 12 repetições.	52
Tabela 8. Avaliação do grau de cobertura da camada herbácea dos módulos sem (SNE) e com escarificação (SE + L) na área experimental da cascalheira, em dezembro de 2005.	55
Tabela 9. Sobrevivência das mudas plantadas no substrato da cascalheira e no cerrado desmatado, em 21 meses de observação.	56
Tabela 10. Incremento médio e porcentagem de crescimento em altura e em diâmetro do coleto das mudas plantadas na cascalheira e no cerrado desmatado, em 21 meses de observação.	57
Tabela 11. Incremento médio em altura e diâmetro do coleto das mudas em SNE e em SE + L, após 21 meses do plantio.	59
Tabela 12. Índice de Valor de Cobertura (IVC) das espécies arbóreas na área da cascalheira e no cerrado desmatado, em dezembro de 2003 e em setembro de 2005.	65
Tabela 13. Índice de Shannon (<i>H'</i>) calculado para a área da cascalheira, para a área controle no cerrado desmatado e para o cerrado sensu stricto, em setembro de 2005.	66
Tabela 14. Índice de Qualidade da Cascalheira (IQC) após um ano do início da revegetação, da área controle do cerrado desmatado e do cerrado nativo, e da cascalheira antes da revegetação.	68
Tabela 15. Custo de revegetação da cascalheira submetida a diferentes manejos.	69

ÍNDICE DE FIGURAS

	página
Figura 1. Precipitação mensal registrada na Estação Meteorológica Principal da Embrapa Cerrados - CPAC entre setembro de 2003 e dezembro de 2005.	33
Figura 2. Croqui de um módulo experimental da área da cascalheira, com seis espécies arbóreas diferentes.	34
Figura 3. Altura média (cm) e diâmetro médio do coleto (cm) das mudas por ocasião do plantio, em dezembro de 2003.	36
Figura 4. Densidade, capacidade de campo e porosidade do substrato escarificado e sem escarificação da cascalheira, e do solo do cerrado desmatado, em outubro de 2003.	43
Figura 5. Taxa de infiltração média de água do substrato da cascalheira após a escarificação, em março e em dezembro de 2004, e do cerrado desmatado e nativo adjacentes à área do experimento.	44
Figura 6. Infiltração de água acumulada em 2,5h (cm) no substrato sem e com escarificação, em março e em dezembro de 2004, e do cerrado desmatado e nativo.	45
Figura 7. Diagrama da qualidade do substrato no início da revegetação (momento I) e decorridos mais de um ano do início da revegetação (momento II).	53
Figura 8. Mortalidade das mudas arbóreas plantadas sob os diferentes tratamentos do substrato da cascalheira na primeira e segunda estação seca e chuvosa.	56
Figura 9. Curvas de crescimento médio em altura e diâmetro do coleto das espécies plantadas na área da cascalheira, considerando todos os tratamentos.	58
Figura 10. Incremento médio em altura e diâmetro das espécies arbóreas em substrato não escarificado (SNE) e escarificado + estilosantes (SE+L), e em área controle no cerrado desmatado, 21 meses após plantio em dezembro de 2003.	60
Figura 11. Curvas de crescimento em altura e diâmetro do coleto do abiu (<i>Pouteria ramiflora</i>) em substrato não escarificado (SNE) e em substrato escarificado + <i>Stylosanthes</i> spp (SE + L), no período de 21 meses após o plantio.	61
Figura 12. Curvas de crescimento em altura e diâmetro do coleto do barú (<i>Dipteryx alata</i>) em substrato não escarificado (SNE) e em substrato escarificado + <i>Stylosanthes</i> spp (SE + L), no período de 21 meses após o plantio.	62
Figura 13. Curvas de crescimento em altura e diâmetro do coleto da gueroba (<i>Syagrus oleraceae</i>) em substrato não escarificado (SNE) e em substrato escarificado + <i>Stylosanthes</i> spp (SE + L), no período de 21 meses após o plantio.	62
Figura 14. Curvas de crescimento em altura e diâmetro do coleto do gonçalo-alves (<i>Astronium fraxinifolium</i>) em substrato não escarificado (SNE) e em substrato escarificado + <i>Stylosanthes</i> spp (SE + L), no período de 21 meses após o plantio.	63
Figura 15. Curvas de crescimento em altura e diâmetro do coleto do ingá (<i>Inga marginata</i>) em substrato não escarificado (SNE) e em substrato escarificado + <i>Stylosanthes</i> spp (SE + L), no período de 21 meses após o plantio.	63
Figura 16. Curvas de crescimento em altura e diâmetro do coleto do jatobá (<i>Hymenaea courbaril</i>) em substrato não escarificado (SNE) e em substrato escarificado + <i>Stylosanthes</i> spp (SE + L), no período de 21 meses após o plantio.	64
Figura 17. Diagrama da qualidade da área da cascalheira sob dois manejos, após mais de um ano do início da revegetação.	67

ÍNDICE DE ANEXOS

FIGURAS

página

Figura A.1. Planta de situação da cascalheira, elaborada pela Divisão de Projetos / DEINFRA / DU / NOVACAP.	79
---	----

TABELAS

Tabela B.1. Custo de revegetação de 1 hectare de área minerada de cascalheira – Tratamento 1 (SNE – CM)	80
Tabela B.2. Custo de revegetação de 1 hectare de área minerada de cascalheira – Tratamento 2 (SNE + CM)	81
Tabela B.3. Custo de revegetação de 1 hectare de área minerada de cascalheira – Tratamento 3 (SE + L – CM)	82
Tabela B.4. Custo de revegetação de 1 hectare de área minerada de cascalheira – Tratamento 4 (SE + L + CM)	83

RESUMO GERAL

A degradação ambiental provocada pela atividade minerária já afetou 0,6% da área do Distrito Federal. A extração de cascalho, apesar de provocar impactos pontuais, é uma das atividades mais degradadoras do meio ambiente. A baixa capacidade de regeneração natural dessas áreas torna a intervenção humana necessária para que o processo de recuperação ocorra.

Um experimento foi implantado em setembro de 2003 com o objetivo geral de avaliar a revegetação em uma área degradada pela extração de cascalho (cascalheira) no Distrito Federal. Foram plantadas seis espécies arbóreas sob quatro diferentes manejos: (T1) plantio em covas adubadas e abertas sobre o substrato minerado; (T2) T1 mais aplicação de cobertura morta em torno da muda; (T3) T1 mais camada herbácea de *Stylosanthes* spp cultivado sobre o substrato escarificado e adubado; (T4) T3 mais cobertura morta em torno das mudas. As espécies arbóreas testadas foram: abiu (*Pouteria ramiflora*), barú (*Dipteryx alata*), gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium*), gueroba (*Syagrus oleraceae*), ingá (*Inga marginata*) e jatobá (*Hymenaea courbaril*).

O estudo consistiu na avaliação da qualidade do substrato, em termos de atributos físicos (densidade e permeabilidade do substrato), químicos (análise de fertilidade do complexo sortido) e biológicos (carbono da biomassa microbiana e respiração basal), e na avaliação da revegetação, em termos do grau de cobertura rasteira e do desenvolvimento das espécies arbóreas, durante vinte e um meses. Um índice de qualidade do substrato (IQS) foi calculado em função de três atributos: permeabilidade, matéria orgânica e biomassa microbiana. Um índice foi criado para avaliar a evolução da qualidade da área da cascalheira (IQC), com base em três parâmetros: índice de diversidade de Shannon (H), IQS e grau de cobertura do estrato herbáceo.

Os resultados evidenciam que a qualidade do substrato das áreas escarificadas e plantadas com estilosantes era superior à das áreas não escarificadas, em decorrência, principalmente, do aumento expressivo na taxa de infiltração de água. O estilosantes semeado sobre o substrato escarificado e adubado proporcionou a formação de um estrato herbáceo denso, conferindo boa proteção à superfície da área. O sistema de revegetação com o estabelecimento concomitante de um estrato arbóreo e um herbáceo melhorou a qualidade do substrato e da cascalheira. O desenvolvimento das mudas foi prejudicado quando plantadas sobre o substrato escarificado, adubado e com estrato herbáceo. *A. fraxinifolium*, *S. oleraceae* e *I. marginata* se destacaram em relação a *P. ramiflora*, *D. alata* e *H. courbaril*, no tocante ao índice de cobertura da área. Para cada ponto percentual de melhoria no índice de qualidade (IQC) da área minerada da cascalheira foram investidos R\$ 102,56 ha⁻¹ quando manejada com o plantio de árvores sobre o substrato não escarificado. O plantio simultâneo de um estrato arbóreo e herbáceo, apesar de mais dispendioso, apresenta uma relação benefício/custo bastante semelhante à calculada para o manejo com plantio exclusivo de árvores, com pequena vantagem para o primeiro manejo.

Palavras-chave: mineração, revegetação, área degradada, recuperação, estilosantes, benefício/custo.

GENERAL ABSTRACT

The environmental degradation caused by mining activity has affected 0,6% of Brazilian Federal District area. The gravel extraction, in spite of provoking localised impacts, is one of the most environmental degrading activities. The low capacity of those areas to natural regeneration turns necessary a human intervention to accelerate the recovery process.

This work aimed to evaluate four revegetation methods on the development of six tree species grown on a gravel mine at nearby Brasília City, Brazil. An experiment was settled in September 2003, involving three variables, which resulted in four different managements. Six tree species was cultivated on: (T1) fertilized pits excavated in barren substratum; (T2) T1 plus mulch applied on the surface around the seedlings; (T3) T1 established on a green cover of *Stylosanthes* spp cultivated on ripened and fertilized substratum, (T4) T3 plus mulching around the seedlings. *Pouteria ramiflora*, *Dipteryx alata*, *Astronium fraxinifolium*, *Syagrus oleraceae*, *Inga marginata*, and *Hymenaea courbaril* tree species were tested on the field.

The study consisted on quality substratum evaluation, in terms of physical (density and permeability of the substratum), chemical (fertility analysis) and biological (microbial biomass carbon and basal respiration) attributes. Revegetation was evaluated in terms of herbaceous layer covering degree (GC) and tree species development for twenty-one months. A substratum quality index (IQS) was based on three attributes: permeability, organic matter and microbial biomass. An index was created to evaluate the quality evolution of recovering area (IQC), based on three parameters: Shannon diversity index (H'), IQS and GC.

The results has showed that IQS of ripened, fertilized and *Stylosanthes* spp cultivated substratum was superior to the non-ripened, mainly due to an expressive increase in water rate infiltration. *Stylosanthes* spp has provided a dense herbaceous layer, protecting the substratum surface. The concomitant establishment of a tree and an herbaceous layer (T3) has improved the substratum quality, but it affected negatively the development of the seedlings in relation to the tree layer species growing on fertilized pits excavated in barren substratum (T1). *A. fraxinifolium*, *S. oleraceae*, and *I. marginata* have developed better and covered more substratum surface than the other tree species. For each improvement degree in the gravel mined site quality index (IQC) of T1 were invested approximately US\$ 45 per hectare. Ripping mined surface and establishing an herbaceous layer (T3) has showed a small advantage under T1 management, in relation to benefits/costs ratio.

Key words: gravel mining, revegetation, degraded site, reclamation, *Stylosanthes*, benefit/cost.

INTRODUÇÃO GERAL

A degradação ambiental é um problema enfrentado em todo o planeta. O solo é um dos principais alvos dessa degradação. Dentre as atividades mais degradantes, está a mineração. A atividade mineradora é responsável por produzir impactos econômicos e ecológicos de grande monta. Ela remove totalmente a camada fértil do solo, determinando a perda da biodiversidade, a interferência nos recursos hídricos, além da brusca alteração na paisagem.

A capacidade de regeneração natural dessas áreas mineradas é muito baixa (Corrêa, 1995; Corrêa et al., 2005). De acordo com a profundidade da lavra, pode haver remoção de todo o solo fértil, além de remover, também, as raízes, que, no cerrado, brotam formando a parte aérea (Corrêa, 2004). Para a efetiva recuperação dessas áreas, a intervenção humana torna-se essencial. Diversas técnicas ou metodologias podem ser utilizadas para recuperar áreas mineradas. A escolha da metodologia mais adequada vai determinar o sucesso ou não da intervenção.

A melhoria da qualidade do material que compõe a superfície de áreas mineradas (substrato), com a finalidade de recompor suas características físicas, químicas e biológicas a um nível mínimo que permita o desenvolvimento de espécies vegetais, constitui-se numa prática muito recomendada em Planos de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD). A recomposição dessas áreas mineradas por meio da revegetação tem sido uma das técnicas de recuperação mais utilizadas no Distrito Federal.

Embora a legislação atual obrigue a recuperação da área degradada por uma jazida mineral após o término da exploração, muitas delas foram abandonadas no Distrito Federal sem qualquer processo de recomposição. Atualmente, verifica-se o não cumprimento da legislação pela maioria dos empreendimentos minerários. Os métodos de recuperação descritos nos PRAD muitas vezes não são compatíveis com a realidade ou não são executados, sob o argumento de que os custos são muito elevados (Bitar, 1997) ou por falta de ferramentas adequadas de fiscalização por parte dos órgãos ambientais competentes. Há, assim, necessidade de desenvolver tecnologias e procedimentos que orientem o processo de recuperação dessas áreas degradadas.

OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar a revegetação em uma área degradada pela extração de cascalho laterítico (cascalheira), localizada na Região Administrativa do Paranoá, Distrito Federal.

Os objetivos específicos foram:

- a. Avaliar os efeitos da escarificação e do plantio de *Stylosanthes* spp nos atributos físicos, químicos e biológicos do substrato.
- b. Avaliar a sobrevivência e o desenvolvimento de seis espécies arbóreas nativas do cerrado, cultivadas sob quatro diferentes manejos.
- c. Estimar a relação benefício técnico / custo financeiro dos diferentes manejos.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Degradação do solo

O solo sustenta o ecossistema terrestre, integrando atmosfera, litosfera, hidrosfera e biosfera. Do ponto de vista agrônomo, o solo é a base para a produção de alimentos, fibras e outros produtos básicos para a sobrevivência. O solo também é fonte de matéria-prima para a construção civil e a siderurgia. Dele se extrai cascalho, areia, minérios, dentre outros.

Por ser um sistema complexo e heterogêneo, composto por frações químicas, físicas e biológicas em íntima interação, qualquer perturbação em uma das propriedades do solo afeta as demais, causando algum tipo de desequilíbrio ao sistema. Esse desequilíbrio pode ser maior ou menor, dependendo do grau de perturbação sofrido (Siqueira e Soares, 2005).

O termo degradação pode ser entendido de diversas formas. O Decreto nº 97.632, de 10 de abril de 1989, que regulamenta o artigo 2º, Inciso VIII, da Lei nº 6.938, de 31 de Agosto de 1981, considera como degradação “os processos resultantes dos danos ao meio ambiente, pelos quais se perdem ou se reduzem algumas de suas propriedades, tais como, a qualidade ou a capacidade produtiva dos recursos ambientais”. Pela norma NBR 10703 (ABNT, 1989), degradação do solo é uma “alteração adversa das características do solo em relação aos seus diversos usos possíveis, tanto os estabelecidos em planejamento quanto aqueles considerados potenciais”. A Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas – SOBRADE (2005) propõe que área degradada é o “local onde, após distúrbio, teve eliminado total ou parcialmente suas características e/ou propriedades naturais” e que degradação do solo seja definida como o “efeito de destruição de determinada característica ou propriedade do solo, com prejuízos ambientais”.

Como estabelecer o ponto a partir do qual um solo já pode ser considerado degradado? Quais seriam os critérios para se avaliar a qualidade de um solo? Diversas são as tentativas de se estabelecer o que seria um solo degradado. Entretanto, até hoje, ainda não se chegou a um consenso a respeito do assunto. Definir e quantificar qualidade de solo tem sido uma tarefa difícil, pois ela depende das características intrínsecas de cada tipo de solo, de suas interações com o ecossistema e do propósito de utilização dele (Goedert e Corrêa, 2004).

O fato é que diversas são as fontes de degradação do solo e a interferência do homem no ambiente é a principal causa dessa degradação. Siqueira e Soares (2005) citam a mineração, a construção civil, as hidrelétricas e a exploração agrícola e pecuária como as principais atividades potenciais de prejuízo para o meio ambiente. Balieiro et al. (2005) destacam como fatores de degradação o desmatamento seguido de queima dos resíduos vegetais, a superlotação de pastagens com baixa capacidade de suporte e a construção de barragens e estradas. A duração do impacto do uso inadequado do solo pode variar de três meses, para solos impactados pelo uso de agroquímicos, a cinquenta a cem anos, para aqueles submetidos à mineração, e a até trezentos anos, para aqueles de áreas desmatadas (Sims, 1989).

A crescente demanda mundial por alimentos tende a agravar a degradação do solo, com pressão para a expansão das áreas agrícolas sobre as áreas de florestas. Projeta-se para o ano de 2050 a necessidade de se triplicar a produção de alimentos (Siqueira e Soares, 2005). Pressão semelhante deverá ocorrer sobre o meio ambiente na busca de matéria-prima para construção civil e construção de estradas, acelerando a degradação do solo decorrente das atividades de mineração. Atividade esta que, apesar de causar impactos mais pontuais, é, certamente, uma das mais severas ao meio ambiente e ao solo.

A remoção do perfil do solo para a realização de obras civis e viárias resulta em caixas de empréstimo e cascalheiras, e deixa exposto o subsolo ou a rocha matriz e causa mudanças drásticas no ambiente local e na circunvizinhança. A composição do material exposto após a mineração varia de acordo com o local e, de um modo genérico, é denominado de substrato (Goedert e Corrêa, 2004). O substrato pode ser um solo desorganizado (suas camadas são invertidas ou misturas – áreas de aterro) ou decapitado (com seus horizontes superficiais ausentes – áreas de empréstimo), um material geológico oriundo de atividades de mineração (rejeito ou estéril, por exemplo), ou mesmo o solo organizado, mas com suas funções debilitadas, fruto principalmente da perda de matéria orgânica e estrutura originais (Balieiro et al., 2005). A maior parte dos substratos apresenta um conjunto de atributos muito diverso daquele presente em um solo, que possui horizontes diferenciados, estrutura própria e características particulares (Goedert e Corrêa, 2004).

Aspectos gerais da atividade minerária no Distrito Federal

A atividade minerária no Distrito Federal iniciou com a construção de Brasília e foi praticada de forma ilegal até a sua regulamentação com a publicação do Decreto nº 1.594, de 26 de janeiro de 1971. A partir dessa data, a legislação ambiental evoluiu com a criação de órgãos de controle ambiental e novas leis. Entretanto, tais ações não foram eficazes no combate à degradação ambiental causada pela mineração. Isto se deveu, principalmente, a discrepâncias entre as determinações das leis e as práticas de recuperação de áreas mineradas (Corrêa et al., 2004a).

O Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) é um dos instrumentos de controle ambiental previsto no processo de licenciamento de cascalheiras no Distrito Federal. Além do PRAD, o interessado em explorar cascalho deve apresentar o Relatório de Controle Ambiental (RCA). O RCA é exigido na primeira fase do processo de licenciamento (Licença Prévia - LP) e o PRAD é exigido na segunda fase do processo (Licença de Instalação – LI). Para garantir que todos os aspectos importantes para a manutenção da qualidade ambiental sejam observados, a Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - SEMARH/DF estabeleceu em termos de referências o que deve ser contemplado na elaboração do RCA e do PRAD (Leite e Castro, 2005).

Mesmo com a criação da Secretaria de Meio Ambiente e Tecnologia - SEMATEC/DF em 1989, quando o licenciamento ambiental torna-se prática rotineira no DF, os instrumentos legais e administrativos utilizados para determinar o cumprimento da lei não foram suficientes. Um

levantamento da situação em 1996 identificou que dos mais de 500 hectares licenciados e explorados no Distrito Federal à época, apenas 34 hectares haviam sofrido trabalhos de revegetação (NURAD/GRN/DITEC, 1996). Contudo, uma avaliação dessas áreas mostrou que as técnicas de revegetação utilizadas eram inócuas (Corrêa et al., 2004a). Em outro levantamento, Castro (2002) concluiu que a efetividade do licenciamento ambiental (entenda-se efetividade como a capacidade de se produzir os resultados esperados e mantê-los no ambiente ao longo do tempo) para extração de cascalho no Distrito Federal foi de 51%, para o período de 1990 a 2002. No mesmo período, dos 117 pedidos de licença para exploração de cascalho protocolizados na SEMARH/DF, e que deveriam estar instruídos com o PRAD, 44 (34%) não o possuíam. Dos demais processos (77) devidamente instruídos com o PRAD, apenas 8% estavam sendo implantados (Leite e Castro, 2005).

Com a evolução da antiga legislação ambiental para uma legislação mais realista e mais apropriada para a recuperação e restauração de ambientes degradados pela mineração, espera-se um incremento das áreas recuperadas, uma diminuição dos danos ambientais e a implementação de projetos de melhor qualidade técnica (Corrêa et al., 2004a). A Lei nº 9.985, de 18/07/2000, é um exemplo desse avanço na legislação. Essa lei institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC, estabelecendo critérios e normas para a criação, implantação e gestão de unidades de conservação.

No Distrito Federal, as jazidas de cascalho e aterro localizam-se às margens dos centros urbanos e, na sua maioria, em áreas rurais. Analisando a imagem do satélite Landsat ETM+, de novembro de 2002, Corrêa et al. (2004a) identificaram a existência de 234 locais degradados pela mineração no DF, ainda sem recuperação, totalizando 3.419 hectares (0,6% da área distrital). Ainda segundo os autores, as áreas de cascalheiras correspondem a 883 hectares de Cambissolos distribuídos em 115 jazidas e são uma fonte significativa de danos que freqüentemente fogem ao controle dos órgãos ambientais.

As bordas de chapadas reúnem as características desejadas na escolha de uma boa jazida de cascalho. Essas áreas correspondem a 10 % do território do DF. A exploração de cascalho dessas áreas acarretaria num acréscimo de cerca de 57.830 hectares ao passivo ambiental atual, concluem Corrêa et al. (2004a).

Corrêa e Melo Filho (2004) avaliaram o estado em que se encontravam 15 áreas mineradas no Distrito Federal, estudando a forma, o tipo do bem minerado, as características físicas e químicas dos substratos e a comunidade vegetal. Apresentam-se, a seguir, alguns resultados desse trabalho:

1. As 15 áreas somavam 177 ha, 5% do total de áreas mineradas no DF. Foram encontradas 5.112 plantas, entre árvores, arbustos, subarbustos e trepadeiras, o que corresponde a 29 plantas por hectare. Além da baixa densidade, os autores afirmam, ainda, que espécies adultas, nativas do cerrado, encontradas revegetando espontaneamente áreas mineradas no DF, têm seu porte reduzido entre 60% e 80% em relação às mesmas espécies em solos não degradados. Foram identificadas 98 espécies diferentes (0,6 espécie por hectare), com destaque para a família das leguminosas (Fabaceae).

2. Com relação ao substrato dessas áreas, os locais de cascalheiras armazenam pouco menos da metade da água que os horizontes mais profundos das áreas de empréstimo. A resistência à penetração, independente do solo original, apresenta-se cerca de 210% acima dos valores esperados para suas respectivas áreas nativas e os de densidade global, 30% acima. Teores de matéria orgânica variaram entre 0,6% e 2,2%. Os valores mais baixos foram considerados os mais esperados em áreas mineradas. Teores maiores foram encontrados nas áreas onde não havia sinais de escoamento de água e erosão, o que demonstra a importância do controle de águas pluviais. Os teores de fósforo foram nulos para todas as áreas, exceto uma. Por isso, foi considerado o mais crítico. Os teores dos demais nutrientes, de maneira geral, ficaram muito abaixo dos valores encontrados em solos de cerrado. Em média, os valores de matéria orgânica, CTC e nutrientes em locais minerados ficaram muito aquém dos valores mais frequentemente encontrados em áreas de cerrado nativo.

Reversão da degradação do solo / substrato

A recuperação de áreas degradadas contempla todos os aspectos de qualquer método que visa à obtenção de uma nova utilização para a área degradada, incluindo o planejamento e o trabalho de engenharia, conjuntamente aos processos biológicos envolvidos (Dias e Griffith, 1998).

A recuperação de áreas degradadas por meio da revegetação consiste na utilização dos substratos minerados para dar suporte ao crescimento de vegetais e, por conseguinte, à recomposição do ambiente (Goedert e Corrêa, 2004).

A degradação pode ser revertida por meio de vários meios de recomposição da paisagem: a reabilitação, a recuperação e a restauração (IBAMA, 1990). A **reabilitação** é definida como o retorno da área a um estado biológico apropriado. O uso produtivo da área, como a implantação de uma atividade lucrativa, ou o seu uso recreativo, pode ser entendido como o retorno a um estado biológico apropriado previsto numa reabilitação. A reabilitação permitiria, portanto, a reinserção da área ao ambiente sob uma forma distinta da original, inclusive com relação ao seu uso e ecossistema (Almeida, 2004). Na reabilitação, o retorno a um estado estável alternativo só seria possível por meio de uma forte intervenção antrópica, sem a qual o ecossistema se manteria num estado de degradação irreversível (Rodrigues e Gandolfi, 2000). Almeida (2004) refere-se ao termo **recuperação** como a restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, que pode ser diferente de sua condição original, mas em conformidade com os valores ambientais, estéticos e sociais da circunvizinhança. Munshower (1994) refere-se à recuperação como a manipulação da topografia e do solo e das condições adequadas ao desenvolvimento das plantas depois da perturbação, de tal forma a permitir que a área tenha uma função positiva no ecossistema em que estava. Este autor utiliza os termos recuperação e reabilitação como sinônimos. O termo **restauração** "*sensu stricto*" é definido por Rodrigues e Gandolfi (2001) como o retorno completo do ambiente degradado às condições ambientais originais e preexistentes, englobando os aspectos bióticos e abióticos. Para

Almeida (2004), essa situação é quase impossível de ser conseguida. Essa possibilidade é extremamente remota, particularmente em áreas degradadas pela mineração.

Portanto, a revegetação de cascalheiras pode ser entendida como um processo de reabilitação ou de recuperação de áreas mineradas.

O processo de recuperação de uma área degradada começa já nos estudos para elaboração do PRAD, antes mesmo da atividade de exploração propriamente dita. Quando recomenda a técnica a ser empregada na extração do cascalho (Lavra em Tiras, por exemplo), a profundidade e a forma de avanço da lavra, o PRAD está visando a uma minimização dos impactos ambientais causados pela atividade. Se forem seguidas, essas orientações prévias também reduzirão sobremaneira os custos da recuperação. Infelizmente, não é o que normalmente ocorre na prática.

Recuperação de áreas degradadas pela mineração

Capacidade de regeneração natural de áreas mineradas

A regeneração natural é, geralmente, o procedimento mais simples e barato de recuperação de áreas degradadas. Entretanto, o tempo necessário à regeneração natural é longo e está intimamente ligado ao grau de degradação (Kobiyama et al., 2001).

A capacidade de regeneração natural (resiliência) de áreas desmatadas no cerrado é resultante tanto da germinação de sementes quanto da brotação de partes aéreas e de raízes que, quando expostas à luz, desenvolvem-se como parte aérea (Corrêa, 2004). A recolonização de áreas mineradas no cerrado depende inicialmente da germinação de raízes que remanesçam no substrato após a mineração. A quantidade dessas raízes diminui à medida que se aprofunda uma lavra. Conseqüentemente, o número de plantas regeneradas vai variar em função da profundidade de corte (Corrêa, 2004). De maneira geral, os PRAD elaborados para áreas de cascalheiras, recomendam a extração de material até 1 metro de profundidade (Novacap, 2000; Novacap, 1999; Novacap, 1998). Entretanto, essa recomendação, normalmente, não é cumprida na prática.

Corrêa (1995) constatou que uma área minerada no Parque Nacional de Brasília havia recuperado apenas 3,7% de cobertura vegetal após 25 anos de sucessão secundária. Vasconcelos et al. (1997) reforçam que a capacidade de regeneração natural de locais escavados no cerrado é insuficiente para cobrir ou estabilizar espontaneamente o substrato minerado. Almeida e Sánches (2005) avaliaram a revegetação de duas áreas de mineração de areia em São Paulo e constataram que a regeneração natural estava sendo um fator determinante na diversificação de espécies.

O substrato é tido como o fator limitante de maior grandeza em processos de reabilitação de áreas mineradas, principalmente aqueles em que a matéria orgânica está ausente (Faria e Chada, 2003).

Os PRAD visam a, primeiramente, tornar substratos minerados aptos ao recebimento de plantas e, depois, identificar espécies nativas que são capazes de iniciar processos de

modificação do ambiente pelas comunidades que o habitam (sucessão ecológica). Considerando a sucessão ecológica em uma área desabitada por plantas e animais, a primeira etapa da sucessão (sucessão primária) corresponde ao surgimento de organismos vivos que irão colonizar a região (pioneiros). Estes são organismos simples e de pouca biomassa. Em seguida, ocorre a etapa intermediária, a chamada **sucessão secundária**. As sucessões secundárias ocorrem em um local anteriormente povoado, mas do qual foram eliminados os seres vivos, como no caso de áreas mineradas. A sucessão termina com uma comunidade clímax, caracterizada por valor máximo possível de biomassa e maior diversidade genética e de espécies como, por exemplo, o cerrado (Kobiyama et al., 2001; Corrêa, 2004).

Corrêa et al. (2005) avaliaram uma área minerada de cascalheira desativada que, após vinte anos de sucessão secundária, continuava desprovida de vegetação. Eles verificaram que a sucessão secundária foi significativamente acelerada pela introdução de apenas duas espécies (*Inga marginata* – ingá, e *Tibouchina estenocarpa* – quaresmeira), mesmo tendo-se limitado o tratamento do substrato apenas às covas de plantio. Seis anos após a introdução dessas duas espécies, outras 15 tinham se instalado espontaneamente na área. Ressaltam, também, a contribuição da fauna para esse processo natural de sucessão secundária, principalmente pela ação de formigas e cupins que se instalaram na área.

Técnicas de revegetação de áreas mineradas

Escarificação do substrato, recomposição topográfica, incorporação de matéria orgânica e de fertilizantes, aplicação de cobertura morta sobre a superfície e a implantação de uma camada herbácea são os meios mais utilizados para transformar a camada superficial de áreas degradadas pela mineração em substratos adequados ao desenvolvimento de plantas (Novacap, 1998, 1999, 2000, 2004a, 2004b, Carvalho, 2004; Corrêa, 2004; Giustina et al., 2005).

A Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil – NOVACAP recupera suas cascalheiras por meio da revegetação. O manejo mais comumente adotado consiste no plantio concomitante de uma camada arbóreo-arbustiva sobre uma camada herbácea. Dois PRAD elaborados para cascalheiras previam recomposição topográfica e paisagística com a utilização de técnicas de controle de erosão, retorno da camada superficial de solo estocada, escarificação do substrato, correção e adubação do substrato e plantio de espécies arbóreas e arbustivas e de uma camada herbácea composta por gramíneas e leguminosas nativas do cerrado (Novacap, 2004a; Novacap, 2004b).

A Companhia de Abastecimento de Água e Esgoto de Brasília – CAESB tem utilizado lodo de esgoto (biossólidos) na recuperação de cascalheiras no DF. A técnica consiste na escarificação do substrato, aplicação de biossólidos e incorporação com grade pesada. O método foi denominado por eles de “revegetação semi-espontânea” (Giustina et al., 2005).

Corrêa (2004) relata quatro diferentes sistemas de revegetação de áreas mineradas:

- 1. Implantação de uma camada rasteira** – nesse sistema, o estrato herbáceo age melhorando as condições do substrato para, posteriormente, realizar a introdução de

árvores e arbustos, o que pode ocorrer espontaneamente, através de sucessão secundária natural (Corrêa et al., 2005).

2. **Implantação de uma camada lenhosa ou arbórea** – sistema de revegetação utilizado quando não há maiores riscos com erosão ou quando não é permitida ou não é desejável a disseminação de espécies exóticas, como em unidades de conservação. Nesses casos, a revegetação é limitada ao coveamento e adubação das covas para plantio de mudas de espécies lenhosas.
3. **Plantio simultâneo de camada lenhosa sobre camada rasteira** - modelo clássico de revegetação de áreas mineradas (Corrêa, 2004; Novacap, 1999; Novacap, 1998; Novacap, 2004a; Novacap, 2004b). Apresenta diversas vantagens e desvantagens que serão discutidas a seguir.
4. **Regeneração induzida** – sistema que utiliza técnicas alternativas que estimulem e acelerem a regeneração natural como, por exemplo, quebra da crosta superficial de substratos, construção de terraços, barreiras e valas.

O plantio de uma camada lenhosa sobre uma camada rasteira associa a estabilidade da paisagem, proporcionada pela camada rasteira, ao ganho ecológico de se estabelecer um bosque arbóreo de espécies nativas. É um modelo que agrega vários benefícios, mas também o que mais demanda manutenção. A escarificação e a adubação de todo o substrato podem incrementar o desenvolvimento das árvores quando suas raízes extrapolam os limites da cova. Mas o estrato herbáceo pode, ao mesmo tempo, auxiliar no desenvolvimento de raízes da camada lenhosa e competir com elas, quando as mudas estão em fase de desenvolvimento, além dos riscos de queimadas na época seca. A manutenção do estrato herbáceo sempre com porte inferior ao das espécies arbóreas é essencial para o sucesso do modelo (Corrêa, 2004).

Na recuperação de uma área de empréstimo (para extração de terra) no cerrado de Minas Gerais, Davide e Faria (1997) observaram que a intensa competição entre camada herbácea composta por espécies exóticas e a camada arbórea com 26 espécies exóticas e nativas exigiu coroamento semestral das mudas nos três primeiros anos e a aplicação de herbicida no quarto. Portanto, o custo de manutenção da área em recuperação nesse tipo de revegetação torna-se bastante oneroso.

Outro fator de extrema importância num projeto de revegetação é a seleção das espécies, tanto arbóreas quanto herbáceas, a serem utilizadas. O manejo do substrato e da camada rasteira, aliados à escolha das espécies apropriadas, são fatores importantes de sucesso na revegetação de áreas mineradas e, por isso, vêm sendo estudados por vários autores (Corrêa, 2004; Felfili et al., 2002; Martins et al., 2001; Siqueira e Soares, 2005; Barbosa et al., 2005; Silva et al., 2005).

Aspectos ecológicos da revegetação de áreas degradadas

Alguns parâmetros fitossociológicos são empregados na identificação das espécies vegetais mais apropriadas para revegetação de áreas mineradas. O Índice de Valor de Importância (IVI) é um índice que revela, através dos pontos alcançados por uma espécie, sua posição sociológica na comunidade analisada. O IVI é dado pelo somatório de parâmetros relativos a densidade relativa (DR), frequência relativa (FR) e dominância relativa (DoR) de uma determinada espécie, refletindo, assim, sua importância ecológica no local (Felfili e Rezende, 2003). Portanto, o IVI de cada espécie pode ser usado para determinar a quantidade de indivíduos que deverá ser plantada em uma área a ser revegetada. As três espécies nativas arbóreas que mais dominam as lavras exploradas no Distrito Federal são *Dalbergia miscolobium* (jacarandá-do-cerrado) com IVI igual a 6,259%, *Tibouchina stenocarpa* (quaresmeira) com IVI de 1,130%, e *Machaerium opacum* (jacarandá-muchiba) com 0,365% de IVI (Corrêa e Melo Filho, 2004).

O Índice de Valor de Cobertura (IVC) é outra medida que também fornece informações a respeito da importância de cada espécie no local estudado. Esse índice é dado pela soma de DR mais DoR.

A diversidade da vegetação, ou diversidade alfa, pode ser medida utilizando-se de índices que procuram unir, em uma única informação, riqueza e similaridade. A riqueza de espécies consiste na medida do número de espécies em uma unidade definida da amostra. Similaridade diz respeito à distribuição da abundância de espécies. O índice de diversidade de Shannon (H') é um dos melhores discriminantes da diversidade alfa de uma comunidade (Magurran, 1988). É um índice não-paramétrico de medida de diversidade de espécies e é baseado na abundância proporcional das espécies. Os valores de H' geralmente situam-se entre 1,3 e 3,5, podendo exceder 4,0 e alcançar 4,5 em ambientes florestais tropicais (Felfili e Rezende, 2003). O valor de diversidade pode ser adotado como indicador de qualidade ambiental, mas nunca o único (Magurran, 1988).

Corrêa et al. (2005) avaliaram a sucessão secundária em uma área minerada por meio do índice de Shannon e do IVC. Seis anos após o plantio de apenas duas espécies, os resultados mostraram que as que surgiram por meios naturais contribuíram com 2,3 vezes mais para a diversidade alfa da comunidade e duas vezes mais para a cobertura vegetal do substrato do que as duas espécies plantadas inicialmente.

Felfili et al. (2002) recomendam o plantio em grande quantidade de pelo menos dez espécies em projetos de restauração de cerrados. Outras trinta espécies, no mínimo, devem ser plantadas em menor quantidade. Segundo Corrêa (2004), essa diversidade de espécies justifica-se em projetos de restauração, quando se pretende alcançar uma maior similaridade com áreas naturais do cerrado. Quando o objetivo é a recuperação da área degradada, podem-se utilizar os recursos existentes na própria área, visando à aceleração da sucessão secundária.

Grupos ecológicos

Uma grande variedade de termos é utilizada para distinguir grupos ecológicos. Diferentes critérios para a classificação das espécies têm sido utilizados, com base principalmente na resposta à luz das clareiras ou ao sombreamento do dossel. Santos et al. (2004) procuraram discriminar grupos ecológicos de espécies florestais e concluíram que as espécies arbóreas estudadas deveriam ser classificadas em um maior número de grupos e confirmaram a subjetividade da maioria dos pesquisadores nessa classificação.

As espécies florestais podem ser divididas em três grupos ecológicos, conforme o estágio sucessional (Leitão Filho, 1993): 1. **Pioneiras** - Espécies que se desenvolvem em clareiras, nas bordas da floresta ou em locais abertos, sendo claramente dependentes de condições de maior luminosidade, não ocorrendo, em geral, no sub-bosque; 2. **Secundárias iniciais** - Espécies que se desenvolvem em clareiras pequenas ou, mais raramente, no sub-bosque, em sombreamento, podendo também ocorrer em áreas de antigas clareiras, próximas às espécies pioneiras; e 3. **Secundárias tardias** - Espécies que se desenvolvem em sub-bosque permanentemente sombreado e, nesse caso, pequenas árvores ou espécies arbóreas de grande porte, que se desenvolvem lentamente em ambientes sombreados, podendo alcançar o dossel ou ser emergentes.

Macedo (1993) divide as espécies arbóreas em três grandes grupos: 1. **Pioneiras** – de crescimento rápido, pleno sol; 2. **Secundárias** – sua principal característica é a capacidade de suas sementes germinarem à sombra, mas requerendo a presença da luz para seu desenvolvimento; e 3. **Climácicas** – de crescimento lento, germinam e se desenvolvem à sombra.

De modo geral, as espécies pioneiras têm seu potencial de crescimento mais restringido quando se desenvolvem em solos pobres, mostrando-se bastante responsivas à fertilização, ao passo que, com o avanço do grupo sucessional, o estímulo ao crescimento proporcionado pela adubação é menos pronunciado e algumas vezes inexistente; tendência, em parte, atribuída ao crescimento mais lento, característico das espécies clímax (Resende et al., 1999). Conforme Marschner (1991) e Lambers e Poorter (1992), espécies de crescimento lento apresentam baixa resposta ao fornecimento de nutrientes; também uma característica de adaptação a solos pouco férteis.

Camada rasteira (estrato herbáceo)

O estabelecimento de uma camada herbácea rasteira proporciona grande estabilidade aos substratos minerados e à paisagem, proporcionando controle da erosão, melhoria da estrutura, aumento do teor de matéria orgânica e permitindo a aceleração do processo sucessional (Corrêa, 2004).

Em um estudo para avaliar o estabelecimento de gramíneas nativas do cerrado em área de cascalheira mediante diferentes tratamentos do substrato, Martins et al. (2001) concluíram que a adição de torta de mamona ($5t\ ha^{-1}$), sozinha ou associada com calcário ($5t\ ha^{-1}$), propiciou

os maiores índices de cobertura do solo. Após 4,5 anos, o índice de cobertura do solo no tratamento torta + calcário atingiu 79%. Nesse mesmo estudo, os autores relatam a dominância de *Melinis minutiflora* (capim gordura) após 4,5 anos de sucessão, apesar do semeio inicial de 32 espécies de gramíneas nativas do cerrado e da grande diversidade de espécies que colonizaram espontaneamente a área.

A aplicação de 400t ha⁻¹ de bio sólidos em um substrato escarificado de uma cascalheira no DF, estimulou o aparecimento espontâneo de uma vegetação herbácea composta principalmente por gramíneas, dois a três meses após o tratamento (Giustina et al., 2005).

Em geral, os PRAD de cascalheiras no cerrado recomendam o semeio de uma mistura de sementes de gramíneas e leguminosas aplicadas no substrato a lanço e incorporadas com uma gradagem leve. Dentre as espécies utilizadas e recomendadas na composição do estrato herbáceo está o *Stylosanthes* spp (mineirão).

***Stylosanthes* spp (mineirão ou estilosantes)**

O *Stylosanthes* spp é uma leguminosa perene, semi-ereta, que pode atingir até 2,5 metros de altura, e apresenta as seguintes características: grande produção de forragem de boa qualidade; alta retenção de folhas verdes no período seco; boa persistência sob pastejo; boa capacidade de consorciação e capacidade de fixar mais de 60 quilogramas de nitrogênio por hectare/ano (equivalente a 130kg de uréia ha⁻¹ ano⁻¹). Ao longo do ano, os teores de proteína bruta variam de 12% a 18%, e a digestibilidade *in vitro* da matéria seca vai de 52% a 60%. É recomendado para ser utilizado em pastagem consorciada, banco de proteína, recuperação de pastagem ou em associação com culturas anuais como adubo verde (Embrapa Cerrados, 1998). O Mineirão desenvolve-se bem em solos ácidos e de baixa fertilidade e apresenta de baixo a médio nível de exigência em fósforo no solo (Embrapa Cerrados, 1998).

Carneiro et al. (1999) constataram que o estilosantes, além da associação simbiótica com bactérias fixadoras de nitrogênio, apresenta uma grande capacidade multiplicadora de esporos de fungos micorrízicos arbusculares no solo.

A dosagem comumente recomendada de sementes de *Stylosanthes* spp em projetos de revegetação é de 2kg ha⁻¹ e a produção de biomassa pode chegar a 10 – 13t ha⁻¹. A dosagem sugerida pelo DER/DF (Carvalho, 2004) é de 1kg ha⁻¹ de cascalheira, quando o *Stylosanthes* spp é plantado em consórcio com uma gramínea e considerando que a camada superficial do solo ("Top soil") foi espalhada sobre o substrato escavado.

Camada lenhosa (estrato arbóreo)

As técnicas empregadas de controle de erosão, escarificação e adubação, dentre outras, levam a uma melhoria da qualidade do substrato. O estrato herbáceo e arbóreo implantado em uma cascalheira em processo de recuperação deve refletir esse incremento de qualidade. Alta porcentagem de sobrevivência e um maior desenvolvimento das espécies arbóreas podem ser

tidos como indicadores de um bom manejo do substrato minerado, evidenciando suas melhorias químicas, físicas e biológicas. Segundo Santana (2002), a resposta da planta é um indicador visual de qualidade do solo.

Os estudos em recuperação de áreas degradadas vêm avançando no sentido de indicar espécies nativas mais adaptadas para utilização em projetos de revegetação de áreas mineradas. O Estado de São Paulo vem estudando, dentre as 242 espécies arbóreas com algum grau de ameaça de extinção naquele Estado, quais poderiam ser utilizadas em projetos de recuperação de áreas degradadas. Políticas públicas foram estabelecidas com o objetivo de estimular o plantio dessas espécies (Barbosa et al., 2005).

Os projetos de revegetação utilizam espécies pioneiras, secundárias e clímax. Corrêa (2004) afirma que, em geral, plantam-se entre 50% e 60% de espécies pioneiras, de crescimento mais rápido, 10% de clímax, e cerca de 30% a 40% de secundárias.

A mortalidade e o desenvolvimento do barú (*Dipteryx alata*) submetido a níveis crescentes de composto de lixo, lodo de esgoto e esterco de gado foram medidos após 4 meses do plantio em área minerada de cascalheira. Os resultados mostraram que o composto de lixo pareceu ter efeitos tóxicos sobre as mudas, já que nos tratamentos com 35, 45 e 50L cova⁻¹ de 64 litros a mortalidade foi de 100%. A melhor dose para o desenvolvimento das plantas com lodo de esgoto foi de 20L e 30L cova⁻¹, sendo 57% e 47% de crescimento, respectivamente. Para as plantas tratadas com composto, o maior crescimento (47%) foi obtido com a menor dose (5L por cova de 64 litros). O maior incremento obtido com o esterco de gado foi de 29% para uma dose de 50L cova⁻¹ (Pinheiro et al., 2005).

Mesquita e Corrêa (2004) perceberam que o crescimento de ingá-mirim (*Inga fagifolia*), oiti (*Licania tomentosa*) e pombeiro (*Tapirira guianensis*) variou, de acordo com a espécie, quando comparado o plantio em área nativa e em área degradada de cascalheira. Após uma estação chuvosa, o pombeiro e o oiti cresceram, respectivamente, entre 8% e 20% a mais na área nativa do que na minerada, enquanto o ingá cresceu 9,7% a mais na área minerada do que na nativa.

Um experimento conduzido por Corrêa et al. (2004b) estudou o desenvolvimento de jatobá-do-cerrado (*Hymanaea stigonocarpa*) em cascalheira e sob o efeito de quatro tipos de biossólidos. A espécie mostrou um crescimento mediano variando entre 183% a 240% num período de 18 meses. A porcentagem de mudas mortas foi inferior a 20%. As plantas adubadas com lodo seco cresceram 18% a mais que as adubadas com lodo fresco.

Pinheiro e Corrêa (2004) testaram doses crescentes de composto de lixo, lodo de esgoto e esterco bovino no desenvolvimento de *Inga marginata* em substrato de cascalheira. As mudas não responderam proporcionalmente às doses crescentes de matéria orgânica. Os autores sugerem que como água, ar, luz, calor e nutrientes foram supridos em quantidades acima das necessárias, as mudas de *I. marginata* expressaram o potencial genético de cada uma e não as condições edáficas do substrato ao qual foram submetidas.

Silva et al. (2005) estudaram o desenvolvimento de seis espécies na revegetação de uma área minerada no cerrado sob diferentes manejos do substrato e concluíram que *Tapirira*

guyanensis (pau-pombo) mostrou um incremento em altura significativamente superior em relação a *Inga marginata* (ingá), *Couepia grandiflora* (oiti), *Genipa americana* (jenipapo) e *Hymenaea courbaril* (jatobá). Esta última foi desaconselhada devido ao alto índice de mortalidade apresentado.

Portanto, é de se esperar que o desempenho das espécies vegetais em áreas perturbadas seja função não só das condições do substrato, mas também dos fatores ecológicos inerentes de cada espécie.

Adubação de substratos minerados de cascalheiras

A NOVACAP (1999) recomenda, como adubação da camada do substrato minerado, a aplicação de: 200g de calcário dolomítico por m²; 2,0kg de composto de lixo ou esterco de curral mais 100g da fórmula 4-14-8+Zn por m² de área minerada de cascalheira. Para covas de 1m³, a recomendação é de: 1kg de calcário dolomítico; 20 litros de composto de lixo ou esterco de curral; 1kg de farinha de ossos e 500g de 4-14-8. Corrêa (2004) recomenda elevar o teor de matéria orgânica em 1%, o que significa aplicar 80t ha⁻¹ de algum insumo orgânico contendo 50% de umidade e 50% de matéria orgânica aos 20cm de camada superficial. Considerando que o composto de lixo possui, em média, 35% de matéria orgânica, deveriam ser adicionadas 114t ha⁻¹ (ou 11,4kg m⁻²) para aumentar em 1% a matéria orgânica do substrato. Para a adubação de 100 litros de cova em áreas mineradas, Corrêa (2004) sugere: 30L de composto de lixo; 150g de calcário dolomítico; 25g de P₂O₅ (quando o teor de argila for de 65%) e micronutrientes (1g de zinco, 0,5g de boro, 0,2g de cobre e 0,2g de molibdênio).

As principais características das seis espécies arbóreas testadas neste trabalho são apresentadas a seguir:

***Syagrus oleracea* (gueroba)**

Espécie da família das Arecaceae, vulgarmente conhecida por gueroba ou gabioba. É perenifólia, heliófita, seletiva xerófita, característica de encostas e terrenos bem drenados da floresta semidecídua, podendo ocorrer também no cerrado e na Caatinga (Lorenzi, 1992). A produção de palmito de boa qualidade da gueroba requer solo de média a alta fertilidade, profundo, rico em matéria orgânica, bem drenado e aplicação de calcário (Aguilar e Almeida, 2000).

***Pouteria ramiflora* (abiu)**

Espécie da família das Sapotáceas, ocorre no cerrado, sementeira de outubro a novembro e é usada como alimento, com fruto comestível (Felfili e Santos, 2002). Planta semidecídua, heliófita, seletiva xerófita, característica das matas semidecíduas e de sua transição

para o cerrado (Cerradões) (Lorenzi, 1992). Árvore hermafrodita medindo até oito metros de altura. Planta de moderado crescimento e adaptada a lugares abertos, é indicada para plantio em áreas de preservação permanente (Almeida et al., 1998). O teor do íon Al, na camada de solo de 0 a 20cm, teve correlação negativa com o número de árvores, diâmetro à altura do peito (DAP), área basal e volume do cilindro por hectare. O teor de potássio também manteve correlação negativa com a maioria das variáveis da planta. Os fatores físicos do solo afetaram mais que os fatores químicos, sendo a influência da fração areia e areia fina positiva e da argila negativa (Batista, 1998).

***Astronium fraxinifolium* (gonçalo-alves)**

Espécie da família das Anacardiáceas. É decídua, heliófita, pioneira e seletiva xerófila, característica de terrenos rochosos e secos, onde forma agrupamentos descontínuos (Lorenzi, 1992). É classificada por Silva et al. (2003) como secundária tardia. Ocorre no Cerradão Mesotrófico e Distrófico, Cerrado e Mata Mesofítica. É árvore dióica de até 30m de altura. Embora essa espécie ocorra preferencialmente em solos com altos teores de Ca no solo do cerrado, também pode ser encontrada esparsamente em solos com baixos níveis desse elemento (Almeida et al., 1998). As plântulas devem ser deixadas a pleno sol. No campo, o desenvolvimento é rápido, atingindo cerca de 3m aos dois anos de idade (Lorenzi, 1992).

***Inga marginata* (ingá)**

Da família das leguminosas – mimosóideas; é uma planta semidecídua, heliófita, seletiva higrófila e pioneira, característica da mata pluvial Atlântica e Amazônica, ocorrendo também na floresta latifoliada semidecídua da bacia do Paraná, onde ocorre preferencialmente na vegetação secundária, situada em solos úmidos, igualmente abundante na orla de matas, beira de rios e ao longo de estradas (Lorenzi, 1998). Muitas espécies do gênero *Inga* apresentam crescimento rápido e são tolerantes a solos ácidos (Lawrence et al., 1995). Algumas espécies de *I. marginata* têm características medicinais, frutíferas e melíferas, sendo também indicadas para produção de lenha, carvão, caixotaria, brinquedos, recomposição da cobertura vegetal em áreas degradadas (Carvalho, 1994) e para a arborização urbana.

Gonçalves et al. (1999) avaliaram respostas de *Inga marginata* à adição de nitrogênio, fósforo e inoculação com *Rhizobium* e concluíram que a adição de N mineral contribuiu para um aumento no acúmulo de matéria seca, sendo que $N-NO_3^-$ inibiu drasticamente a formação dos nódulos.

***Dipteryx alata* (barú)**

Pertence à família das leguminosas – fabóideas; é perenifólia, heliófita, seletiva xerófila, característica de terrenos secos do cerrado e da floresta latifoliada semidecídua (Lorenzi,

1992). Espécie secundária inicial a levemente tardia. Encontrada naturalmente no Cerradão (Floresta Esclerófila), na Floresta Estacional Semidecidual, e no Pantanal Mato-Grossense. Ocorre naturalmente em solos de fertilidade química média, secos, profundos ou não, calcários ou ácidos. Os solos são, de preferência, lateríticos, areno-argilosos com predominância da fração areia-grossa (Carvalho, 1994). Árvore de até 25m de altura, com tronco podendo atingir 70cm de diâmetro. Copa densa e arredondada. Folhas compostas por 6 a 12 folíolos. Segundo Ulhôa (1997) citado por Carvalho (2003), o fósforo mostrou-se o nutriente mais limitante para o crescimento inicial das plantas e recomenda a aplicação de 4,7t de calcário por hectare e 200mg de P kg⁻¹ de solo. As raízes do barú associam-se simbioticamente com *Rhizobium* (Carvalho, 2003). O barú pode ser plantado a pleno sol, em plantio puro, onde apresenta comportamento silvicultural satisfatório, mas há grande variação em altura entre plantas. Recomenda-se o espaçamento de 3,0m x 1,5m, desde que seja feito um desbaste em torno de 10 anos (Aguiar et al., 1992). Espécie recomendada para sistema silvipastoril, na arborização de pastagens, em pequenos bosques, servindo tanto como alimento quanto para sombra para os animais. O crescimento do barú é moderado, podendo atingir incremento médio anual de 7,30m³ ha⁻¹ aos 10 anos. O índice de sobrevivência é alto, acima de 80% (Carvalho, 1994). A madeira dessa árvore, que em algumas localidades chega a atingir até 25 metros de altura, é bastante pesada e resistente a fungos e cupins. Seu tronco é muito procurado para a fabricação de mourões, dormentes e tábuas, sendo também utilizado na construção civil e naval. A amêndoa do barú é comestível e seu óleo também é utilizado (Tassara, 1996). Também pode ser utilizado, segundo Carvalho (2003), para: a) celulose e papel; b) alimentação animal e humana; c) diversos usos medicinais; d) uso paisagístico; e e) reposição de matas ciliares.

***Hymenaea courbaril* (jatobá)**

Da família das leguminosas – Caesalpinoideae; é semidecídua, heliófita ou esciófita, seletiva xerófila, característica da floresta latifoliada semidecídua, ocorrendo do Piauí até o norte do Paraná. É pouco exigente em fertilidade e umidade do solo, geralmente ocorrendo em terrenos bem drenados (Lorenzi, 1992). Em experimentos, tem crescido melhor em solo com fertilidade variando de média a elevada, com drenagem boa a regular e com textura que varia de franca a argilosa. As raízes do *H. courbaril* não apresentam nodulação com *Rhizobium* (Carvalho, 1994). É uma árvore de porte médio, com 10 a 30m de altura. É classificado como espécie clímax por Kageyama et al. (1990) e clímax exigente em luz por Davide et al. (1995), sendo pertencente ao grupo das indicadoras acompanhantes, ou seja, espécies de ocorrência em mata ciliar ou de várzea, em solo temporária ou permanentemente úmido, sujeito à inundação periódica e sendo ainda freqüente nas matas de terra firme (Salvador, 1989). Segundo Kageyama (1992), o jatobá cresceu menos quando plantado à sombra ou sombra parcial do que quando plantado a pleno sol. Em plantios, o jatobá apresenta grande heterogeneidade no crescimento em altura de plantas e seu crescimento é lento a moderado (Carvalho, 1994). Os frutos do jatobá possuem uma polpa farinácea que fornece farinha com valor protéico equivalente ao fubá de milho, com utilização

culinária (Almeida et al., 1990). Esta polpa farinácea também é muito procurada por várias espécies da fauna, que dispersam suas sementes, tornando o jatobá muito útil nos plantios em áreas degradadas destinadas à recomposição da vegetação arbórea (Lorenzi, 1992). Apesar do ápice ramificado, dos ramos pesados e das taxas de crescimento baixas a moderadas, apresenta potencial para plantios manejados. Sua madeira é dura e pesada. Do jatobá pode-se extrair uma resina utilizada comercialmente como medicinal, como ingrediente de vernizes e ceras dentre outros usos (CAB, 2004).

Duboc et al. (1996) avaliaram os requerimentos nutricionais do jatobá, tendo como substrato um Latossolo Vermelho-Amarelo com baixa disponibilidade de nutrientes. Os resultados permitiram concluir que essa espécie apresentou pequeno requerimento nutricional para o N, P, Ca, Mg, S e K. A disponibilidade de B e Zn no solo adubado com estes elementos foi superior às exigências das plantas, que apresentaram sintomas de toxidez ou desequilíbrio.

Monitoramento e avaliação de áreas revegetadas

Os procedimentos descritos nos PRAD, com muita frequência, não são seguidos na prática ou seus resultados ficam aquém do esperado (Bitar, 1997; Leite e Castro, 2005). Além disso, uma das etapas mais negligenciadas é o monitoramento e a manutenção do projeto implantado. O objetivo desses dois mecanismos seria intervir até que os mecanismos naturais garantam a sustentabilidade ecológica da comunidade implantada (Corrêa, 2004).

O acompanhamento dos resultados da revegetação de áreas mineradas é, em geral, inexistente. Uma das razões é a dificuldade de se estabelecerem parâmetros ou critérios para a avaliação do desempenho do processo de revegetação. A escolha de indicadores que possam fornecer, com exatidão e a custos baixos, as informações desejadas, é um desafio. É improvável que se possam desenvolver indicadores de uso universal. Cada situação e cada ambiente a ser recuperado exigirão indicadores específicos (Rodrigues e Gandolfi, 2001).

Almeida e Sánches (2005) selecionaram um conjunto de indicadores com a finalidade de facilitar a tarefa de avaliação dos resultados da recuperação em áreas de extração de areia. Aspecto visual, densidade de plantas, altura média de plantas, número de espécies arbóreas e mortalidade de mudas foram os cinco indicadores selecionados e considerados eficazes, pelo baixo custo, por demandarem pouco tempo, não requererem conhecimento especializado e representarem satisfatoriamente o estado da área revegetada. A colonização, por outras espécies, de uma área em recuperação pode indicar condições favoráveis do substrato à sucessão secundária (Corrêa, 2004).

De acordo com Ewel (1992), deve-se julgar o sucesso do restabelecimento de um ecossistema através da observação de cinco princípios básicos: **sustentabilidade**, que é a capacidade da nova comunidade de se perpetuar; **invasibilidade**, que é a suscetibilidade dessa comunidade em ser invadida por novas espécies; **produtividade**, função da eficiência de uso dos recursos pela comunidade; **retenção de nutrientes**, que é a capacidade da comunidade em não perder mais nutrientes do que a comunidade original anterior à degradação, o que poderia

umentar a invasibilidade; e **interações bióticas**, que é a capacidade da comunidade de plantas em interagir com outros organismos.

No Brasil, apenas o Estado de São Paulo possui uma norma, a Resolução SMA nº 21, de 21/11/2001, que regulamenta critérios sobre monitoramento e manutenção de áreas degradadas. Essa resolução fixa orientação para o reflorestamento heterogêneo de áreas degradadas, estabelecendo as diretrizes gerais para PRAD.

Avaliação da qualidade do solo e do substrato

A qualidade do solo tem sido definida como a sua capacidade em exercer funções, nos limites do ecossistema, para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade do ambiente e promover a saúde de plantas e animais (Dias, 2002; Santana, 2002). Este conceito de qualidade do solo vem sendo utilizado para avaliar a degradação e o potencial de sustentabilidade de solos agrícolas sob diferentes manejos. No entanto, o mesmo conceito ainda é incipiente para avaliar o processo de recuperação de áreas mineradas ou drasticamente alteradas (Dias, 2002). Segundo Dias (2002), nessas áreas, as pesquisas relativas ao monitoramento do processo de recuperação ainda não permitem que se tenha uma visão crítica a respeito da principal limitação do processo e de quais seriam os indicadores a serem utilizados para que possam, de maneira rápida e eficiente, fornecer informações sobre a evolução do potencial produtivo e de sustentabilidade do ambiente em recuperação.

Portanto, a seleção de quais indicadores de qualidade utilizar para áreas drasticamente alteradas, como as da atividade minerária, carece de avaliação.

Indicadores da qualidade de solos/substratos

A qualidade de um solo pode ser avaliada pela quantificação de alguns indicadores ou atributos. Indicadores de qualidade do solo são propriedades, processos e características físicas, químicas e biológicas que podem ser medidas para monitorar mudanças na qualidade do solo (Santana, 2002; Goedert e Corrêa, 2004). Santana (2002) divide esses indicadores em quatro grupos: os visuais, os físicos, os químicos e os biológicos.

Indicadores visuais – podem ser obtidos de observações ou interpretações de fotografias. Mudança de cor, acúmulo de água, resposta da planta e ocorrência de plantas daninhas são alguns exemplos de evidências visuais que podem indicar melhorias ou pioras na qualidade de um solo ou substrato.

Indicadores físicos – alguns exemplos são a densidade, a porosidade, a estabilidade de agregados, a textura, a compactação. Refletem primariamente limitações para o desenvolvimento radicular, emergência de plântulas e infiltração de água no perfil.

Indicadores químicos – pH, salinidade, matéria orgânica, disponibilidade de nutrientes, capacidade de troca de cátions e ciclagem de nutrientes, dentre outros, são condições químicas do solo que afetam as relações solo-planta.

Indicadores biológicos – incluem as medições de micro e macroorganismos, suas atividades e subprodutos, as medições de taxas de decomposição de resíduos de plantas, dentre outras.

Goedert e Corrêa (2004) classificam os indicadores em efêmeros, intermediários e permanentes, de acordo com as variações que podem sofrer ao longo do tempo.

Indicadores efêmeros – oscilam em curto espaço de tempo. São, por exemplo: temperatura, umidade, pH, teor de nutrientes.

Indicadores intermediários – alteráveis, após manejo do solo por alguns anos. São: densidade do solo, resistência à penetração, permeabilidade, estabilidade de agregados, teor de matéria orgânica, nível de atividade biológica.

Indicadores permanentes – inerentes ao tipo de solo e servem para classificá-los. São, por exemplo: textura, mineralogia, profundidade, cor, densidade de partículas.

Os indicadores intermediários têm sido os mais utilizados para monitorar qualidade de solo, por não estarem sujeitos a variações bruscas e poderem ser avaliados com métodos de boa reprodutibilidade (Goedert e Corrêa, 2004). Ainda, segundo Goedert e Corrêa (2004), o monitoramento da qualidade do solo deve ser orientado para detectar tendências de mudanças que são mensuráveis num período de um a dez anos.

Islam e Weil (2000) avaliaram 13 propriedades (atributos) de solos manejados por 4 a 11 anos sob sistemas conservacionistas e outros sob sistemas de produção convencionais, com a intenção de identificar os indicadores mais promissores para compor um índice de qualidade de solo. Carbono ativo e total da biomassa microbiana do solo, quociente metabólico (qCO_2) e estabilidade de agregados foram os parâmetros que se mostraram mais promissores. O carbono orgânico total mostrou-se consideravelmente menos sensível ao manejo do solo.

Biomassa e atividade microbiana do solo

A diversidade e a atividade microbiana do solo servem de indicativos de sua qualidade por exercerem influências nas interações tróficas e na ciclagem de C e nutrientes que são mediados por processos microbianos (Moreira e Siqueira, 2002).

A biomassa microbiana é a parte viva da matéria orgânica do solo e também a fração de reserva e reciclagem de nutrientes, representando entre 1 a 5% do carbono orgânico do solo (Moreira e Siqueira, 2002).

Diante das limitações das contagens microbianas em placas com meios seletivos, a possibilidade de estimar a biomassa microbiana do solo representa um grande avanço tecnológico (Moreira e Siqueira, 2002). O carbono da biomassa microbiana (CBM) é tido como um bom indicador de sustentabilidade, pois se mostra sensível às alterações que ocorrem no solo.

Os valores de carbono da biomassa microbiana (CBM) indicam o potencial de reserva de C no solo. Quanto maior for o CBM, maior o potencial de reserva de C no solo e menor potencial de decomposição da matéria orgânica (Gama-Rodrigues et al.,1997). Estes valores podem variar muito, dependendo das alterações de umidade, pH, natureza da comunidade

vegetal, estrutura, dentre outros fatores. Áreas degradadas podem apresentar valores de 80 mg C kg⁻¹ solo na camada de 0 a 10 cm (Ramos et al., 1999). Em solos da região do cerrado sob vegetação nativa foram encontrados valores entre 373 e 1227 mg C kg⁻¹ solo (Oliveira et al., 2001).

Os valores de CBM, se tomados isoladamente, são pouco informativos, por isso freqüentemente são feitas comparações e análises conjuntas com outros índices tais como: respiração basal (RB), relação percentual carbono microbiano: carbono orgânico (CBM:Corg) e carbono orgânico (Corg).

A respiração é um dos mais antigos parâmetros para quantificar a atividade microbiana. Ela representa a oxidação da matéria orgânica por organismos aeróbios do solo que utilizam O₂ como acceptor final de elétrons, até CO₂. Assim, ela pode ser avaliada tanto pelo consumo de O₂ como pela produção de CO₂ (Moreira e Siqueira, 2002). A partir dos dados de respiração (produção de CO₂) e biomassa microbiana pode-se calcular o quociente metabólico (qCO_2), um índice muito utilizado em ecologia microbiana, que representa a quantidade de C-CO₂ evoluída por unidade de C microbiano ($\mu g h^{-1}$ de C-CO₂/mg g⁻¹ de C-biomassa no solo seco). A RB pode ter comportamento diferente do CBM, ou seja, um solo poderá apresentar um valor para CBM alto, mas com um baixo nível de atividade. Islam e Weil (2000) propuseram duas hipóteses para explicar os baixos valores de qCO_2 em solos sob manejos conservacionistas: primeiro, baixo qCO_2 poderia refletir um baixo nível de estresse da comunidade microbiana nesses solos; segundo, pode ser um indicativo de que o manejo conservacionista do solo incentivou um deslocamento da comunidade microbiana para uma dominância de fungos. Uma elevação no qCO_2 foi relatado por diversos autores como uma indicação sensível de estresse no ecossistema do solo devido a fatores tais como metais pesados, salinização ou perturbações físicas (Anderson e Domsch, 1990; Brookes, 1995; Killham, 1987).

A estimativa de indicadores biológicos como o CBM fornece dados sobre as mudanças decorrentes do uso do solo com maior rapidez que os parâmetros físico-químicos, e por isso de grande utilidade no manejo e uso sustentável dos solos (Siqueira e Soares, 2005).

Custo de recuperação de áreas mineradas de cascalheiras

Práticas de melhoria ou de modificação do substrato podem onerar muito o processo de reabilitação de áreas degradadas (Faria e Chada, 2003). O custo de recuperação de áreas degradadas varia em função do tratamento dado ao substrato e do manejo da área. A Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil – NOVACAP, através de planilhas de orçamento elaboradas em 2002, estimava entre R\$ 4.000,00 e R\$ 10.000,00, o custo para recuperação de um hectare de cascalheira, dependendo do manejo adotado. O custo estimado pelo DER/DF em 2003 era de cerca de R\$ 12.000,00, incluindo a regularização da área, construção de terraços, retorno da camada de solo superficial estocada, escarificação da cava, operações de adubação e correção do substrato, insumos (fertilizantes, sementes e mudas), abertura das covas, plantio das mudas e manutenção da área por um ano (Carvalho, 2004).

Utilizando biossólidos, Giustina et al. (2005) estimaram um custo médio de recuperação de R\$ 4.800,00 ha⁻¹ para o empreendedor de uma jazida de cascalho no DF. O custo relativo às operações de disposição final, realizadas pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – CAESB, ficou em torno de R\$ 28,25 por tonelada de biossólido ou R\$ 11.300,00 ha⁻¹. Isso significa um custo total de R\$ 16.100,00 por hectare de cascalheira recuperada.

Carvalho (1993) calculou que as despesas com a recuperação de uma cascalheira correspondiam a 0,56% do valor da obra de pavimentação para a qual o cascalho era destinado. Corrêa (2004) estima que, no Distrito Federal, o gasto com revegetação de cascalheiras é a metade do custo de extração do cascalho retirado, ou entre 1% e 2,5% do valor de mercado do material lavrado. O preço médio de mercado para retirada de 1m³ de cascalho, em 1998, era de R\$ 2,00 (NOVACAP, 1998). Atualmente, o valor de 1m³ de cascalho varia entre R\$ 4,00 e R\$ 8,00, dependendo da qualidade do material explotado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, I. B.; VALERI, S. V.; ISMAEL, J.J; ALHO, D. R. Efeitos do espaçamento no desenvolvimento de *Dipteryx alata* Vog., em Jaboticabal (SP), até a idade de 20 anos. In: **Congresso Nacional Sobre Essências Nativas**, 2., 1992, São Paulo. Anais. São Paulo: Instituto Florestal, 1992, p. 570-572.

AGUIAR, J. L. M.; ALMEIDA, S. P. **A gueroba (*Syagrus oleracea* Becc.) nas comunidades rurais II: Sistema de produção e avaliação econômica**. Planaltina: Embrapa Cerrados, Documentos N° 24, 2000. 47 p.

ALMEIDA, R. Perícia em local de extração mineral. In: CORRÊA, R. S.; BAPTISTA, G. M. M. **Mineração e áreas degradadas no cerrado**. Brasília: Universa, 2004. p. 105-122.

ALMEIDA, R. O. P. O.; SÁNCHEZ, L. E. Revegetação de áreas de mineração: critérios de monitoramento e avaliação do desempenho. **Revista Árvore**, Viçosa – MG, v. 29, n.1, 2005. p.47-54.

ALMEIDA, S. P.; PROENÇA, C. E. B.; SANO, S. M.; RIBEIRO, J. F. **Cerrado: espécies vegetais úteis**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998. 464 p.

ALMEIDA, S. P.; SILVA, J.A.; RIBEIRO, J. **Aproveitamento alimentar de espécies nativas do cerrado: araticum, barú, cagaita e jatobá**. 2 ed. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1990. 83p. (Documentos 26).

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Application of eco-physiological quotients (qCO_2 , qD) on microbial biomass from soils of different cropping histories. **Soil Biology and Biochemistry** 22:251-255, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Degradação do solo, terminologia – NBR 10703**. Rio de Janeiro, 1989. 45 p.

BALIEIRO, F. C.; CHAER, G. M.; REIS, L. R.; FRANCO, N. O.; FRANCO, A. A. Qualidade do solo em áreas degradadas. In: **XXX CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**, Recife – PE, 2005. CD-ROOM.

BARBOSA, L. M. et al. Recomendações de uso para espécies arbóreas nativas ameaçadas de extinção no estado de São Paulo, em projetos de recuperação de áreas degradadas. In: **VI Simpósio Nacional e Congresso Latino-americano de Recuperação de Áreas Degradadas**. Curitiba: Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas – SOBRADE. p.725, 2005. (resumo)

BATISTA, E. A. **Influência de fatores edáficos no cerrado da Reserva Biológica de Mogi-Guaçu, SP**. Piracicaba:ESALQ, 1998. 188 p. Tese de Doutorado.

BITAR, Y. O. **Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na região metropolitana de São Paulo**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. (Tese de Doutorado) 184p. 1997.

BROOKES, P.C. The use of microbial parameters to monitor soil pollution by heavy metals. **Biology and Fertility of Soils**. 19:269-279, 1995.

CAB INTERNATIONAL. Forestry Compendium. Wallingford, UK: **CAB INTERNATIONAL**, 2003. Disponível em: <<http://www.cabi.org/compendia/fc/index.asp>>. Acesso em: janeiro de 2004.

CARNEIRO, M. A. C.; SIQUEIRA, J. O.; CURTI, N.; MOREIRA, F. M. S. Efeitos da inoculação de fungos micorrízicos arbusculares e da aplicação de fósforo no estabelecimento de forrageiras em solo degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 9, p. 1669-1677, 1999.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: Recomendações silviculturais, potencialidades e usos da madeira.** EMBRAPA, CNPF. 639p. 1994.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras.** Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, Colombo – PR: Embrapa Florestas, 2003. 1 volume. 1039 p. Coleção Espécies Arbóreas Brasileiras.

CARVALHO, R.M. **Palestra sobre exploração de cascalho.** DER, Auditório da Administração Regional do Guará, 16/09/1993. Manuscrito, 18 p.

CARVALHO, R. M. **Orçamento para recuperação de jazidas de cascalho.** Brasília, 2004. 3 p. (fax símile transmitido em 06 de agosto de 2004)

CASTRO, A. J. R. **Licenciamento ambiental de cascalheira no Distrito Federal.** Brasília, 2002, 106 p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação *Stricto Sensu* em Planejamento e Gestão Ambiental. Universidade Católica de Brasília. Brasília, 2002.

CORRÊA, R.S. **Aspectos vegetacionais e edáficos de uma área de desaterro no cerrado sobre latossolo vermelho escuro.** 1995. 87 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade de Brasília, Brasília.

CORRÊA, R. S. **Recuperação de Áreas Degradadas no cerrado: Técnicas de revegetação.** Brasília: CREA-DF, 2004. 163 p. (Apostila)

CORRÊA, R. S.; BIAS, E. S.; BAPTISTA, G. M. M. Áreas degradadas pela mineração no Distrito Federal. In: CORRÊA, R. S.; BAPTISTA, G. M. M. **Mineração e áreas degradadas no cerrado.** Brasília: Universa. p. 9-22. 2004a.

CORRÊA, R. S.; MELO FILHO, B. Aspectos ecológicos da sucessão secundária em áreas mineradas no cerrado. In: CORRÊA, R. S.; BAPTISTA, G. M. M. **Mineração e áreas degradadas no cerrado.** Brasília: Universa. p. 123-157. 2004

CORRÊA, R. S.; REGIS, D. N.; BORGES, C. L.; MELO, L. F. O.; PINA, E. R.; DUARTE, R. N.; CARVALHO, A. A. Uso de quatro bio-sólidos no cultivo de jatobá-do-cerrado (*Hymenaea stigonocarpa*) em área degradada pela mineração no cerrado. In: **3º Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental.** Taguatinga, DF. Tecnologia Ambiental, Trabalhos Completos, Resíduos Sólidos. CD ROM. Universidade Católica de Brasília, 3 a 7 de outubro de 2004b.

CORRÊA, R. S.; SILVA, L. C. R.; MELO FILHO, B. Evolução da diversidade de espécies da cobertura vegetal de uma área minerada em processo de recuperação no cerrado do Distrito Federal: contribuição da fauna. In: **VI Simpósio Nacional e Congresso Latino-americano de Recuperação de Áreas Degradadas.** Curitiba: Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas – SOBRADE. p.99-106, 2005.

DAVIDE, A. C.; FARIA, J. M. R. Revegetação de área de empréstimo da usina hidrelétrica de Camargos (CEMIG). In: **III Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas.** Ouro Preto - MG: Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas e Universidade Federal de Viçosa, p.462-473, 1997.

DAVIDE, A. C.; FARIA, J. M. R.; BOTELHO, S. A. **Propagação de espécies florestais.** Lavras: UFLA, 1995. 41p.

DIAS, L. E. Uso de indicadores de qualidade de solo no monitoramento de processos de recuperação de áreas degradadas. In: **Boletim Informativo – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.7, n.2, p.6-8, 2002.

DIAS, L. E.; GRIFFITH, J. J. Conceituação e caracterização de áreas degradadas. In: DIAS, L. E.; MELLO, J. W. V. **Recuperação de áreas degradadas.** Viçosa: UFV – Departamento de Solos; Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, p. 1 – 7. 1998.

DUBOC, E. et al. Nutrição do jatobá (*Hymenaea courbaril* L. var. *stilbocarpa* (Hayne) Lee et Lang.). **Cerne**, v. 2, n. 1, p. 138-152, 1996.

EMBRAPA CERRADOS. **Estabelecimento e utilização do estílozantes Mineirão**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1998. 6p. Comunicado Técnico, 74.

EWEL, J. J. Restoration is the ultimate test of ecological theory. In: JORDAN III, W.R.; GILPINS, M. E.; ALBER, J. D. (Ed.). **Restoration ecology, a synthetic approach to ecological research**. New York: Cambridge University Press. p. 31-33. 1992.

FARIA, S. M. de; CHADA, S. de S. **Interação Microorganismos e Plantas na Recuperação de Áreas Degradadas**. Disponível em: <www.rc.unesp.br/xivsbps/Mesa03MSMF.pdf>. Acesso em: 20/06/2003.

FELFILI, J. M.; FAGG, C. W.; da SILVA, J. C.; de OLIVEIRA, E. C. L.; PINTO, J. R. R.; da SILVA Jr., M. C.; RAMOS, K. M. O. **Plantas da APA Gama e Cabeça-de-veado: espécies, ecossistemas e recuperação**. Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal. 52p. 2002.

FELFILI, J. M.; SANTOS, A. A. B. **Direito ambiental e subsídios para a revegetação de áreas degradadas no Distrito Federal**. Brasília: Universidade de Brasília / Departamento de Engenharia Florestal, 2002, 135p. (Comunicações Técnicas Florestais, v.4, n.2)

FELFILI, J. M.; REZENDE, R. P. **Conceitos e métodos em fitossociologia**. Brasília: Universidade de Brasília / Departamento de Engenharia Florestal, 2003, 68p. (Comunicações Técnicas Florestais, v.5, n.1)

GAMA-RODRIGUES, E. F. da; GAMA-RODRIGUES, A. C. da; BARROS, N. F. de. Biomassa microbiana de carbono e de nitrogênio de solos sob diferentes coberturas florestais. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, v.21, n.3, p.361-365, jul/set 1997.

GIUSTINA, Y. R. D.; BORGES FILHO, H. C.; CARNEIRO, P. J. R. Experiência do Distrito Federal com uso de biossólidos em áreas degradadas sob o aspecto da revegetação semi-espontânea. P.671-672. In: BALENSEIFER, M. (coordenador). **Anais/Recuperação de áreas degradadas: VI simpósio nacional e congresso latino-americano**, Curitiba, 24 a 28 de Outubro de 2005; Curitiba: SOBRADE, 2005. 753p.:il.

GOEDERT, W. J.; CORRÊA, R. S. Usos, degradação e qualidade do solo. In: CORRÊA, R. S.; BAPTISTA, G. M. M. **Mineração e áreas degradadas no cerrado**. Brasília: Universa. p. 159-172. 2004.

GONÇALVES, C. A.; GOI, S. R.; NETO, J. J. Crescimento e nodulação de *Inga marginata* em resposta à adição de nitrogênio, fósforo e inoculação com Rizóbio. **Floresta e Ambiente**. V.6, n.1, p. 118-126, 1999. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/if/revista/pdf/p0118.pdf>>. Acessado em: 09/01/2006.

IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação**. Brasília, 1990. 96 p.

ISLAM, K.R.; WEIL, R.R. Soil quality indicator properties in the mid-Atlantic region as influenced by conservation management. **Jour. Soil and Water Conserv.** 55:69-78. 2000.

KAGEYAMA, P. Y.; BIELLA, L. C.; PALERMO Jr., A. Plantações mistas com espécies nativas com fins de proteção a reservatórios. In: **CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO 6, Anais**. Campos do Jordão: SBS/SBEF, 1990. p.109-113.

KAGEYAMA, P.Y. **Recomposição da vegetação com espécies arbóreas nativas em reservatórios de usinas hidrelétricas da CESP**. Série Técnica IPEF, Piracicaba, v.8, n.25, 43 p. 1992.

KILLHAM, K. Assessment of stress to microbial biomass. In: ROWLAND, A. P. (Ed.) **Chemical Analysis in Environmental Research**. Institute of Terrestrial Ecology: United Kingdom, 1987.

KOBIYAMA, M.; MINELLA, J. P. G.; FABRIS, R. Áreas degradadas e sua recuperação. In: EPAMIG. **Recuperação de áreas degradadas**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.22, n.210, p.10-17, 2001.

LAMBERS, H.; POORTER, H. Inherent variations in growth rate between higher plants: a search for physiological causes and ecological consequences. **Advances in Ecological Research**, London, v.23, p.188-261, 1992.

LAWRENCE, A.; PENNINGTON, T. D.; HANDS, M. R.; ZÚNIGA, R. A. *Inga*: High diversity in the neotropics nitrogen fixing trees for acid soils. **Nitrogen fixing tree** Research Reports Special Issue, p.130- 141, 1995.

LEITÃO FILHO, H.F. **Ecologia da mata atlântica em Cubatão**. São Paulo: UNESP/UNICAMP, 1993. 184 p.

LEITE, L. L.; CASTRO, A. J. R. de. **Situação dos planos de recuperação de áreas degradadas (PRAD) nos processos de licenciamento de cascalheiras no Distrito Federal**. Disponível em: <<http://www.cemac-ufla.com.br/trabalhospdf/trabalhos%20voluntarios/protoc%2050.pdf>>. Acesso em: 14 de novembro de 2005.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 2ª ed. Nova Odessa, SP: Editora Plantarum, 352 p. vol. 2, 1998.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa, SP: Editora Plantarum, 352 p. vol. 1, 1992.

MACEDO, A. C. **Revegetação: matas ciliares e de proteção ambiental**. São Paulo: Fundação Florestal, 24p. 1993. Disponível em: <www.fflorestal.sp.gov.br/publicacao/manual_vegetacao_1ed_1993.pdf>. Acessado em: 09/01/2006.

MAGURRAN, A. E. **Ecological diversity and its measurement**. Princeton University Press. Princeton, New Jersey. 179p. 1988.

MARSCHNER, H. Mechanisms of adaptation of plants to acid soils. **Plant and Soil**, The Hague, v.134, n.1, p.1-20, July 1991.

MARTINS, C. R. M.; LEITE, L. L.; HARIDASAN, M. Recuperação de uma área degradada pela mineração de cascalho com uso de gramíneas nativas. In: **Revista Árvore**, Viçosa – MG, v.25, n.2, p.157-166, 2001.

MESQUITA, P. G.; CORRÊA, R. S. Comparação entre o crescimento de três espécies arbóreas de cerrado em área nativa e em área minerada. In: **Revista do VII Congresso e Exposição Internacional sobre Florestas - Forest 2004**, p. 52 - 54 & Volume de Resumos, p. 31 - 32. Centro de Convenções da Academia de Tênis, 27 a 30 de setembro de 2004. Brasília, DF.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras, Editora UFLA, 2002. 625p.

MUNSHOWER, F. **Practical handbook of disturbed land revegetation**. Boca Raton: Lewis Publishers, 265 p. 1994.

NOVACAP – Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil. **Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD) – Cascalheira BR-060 – Projeto Básico**. Geotec - Engenharia, Tecnologia Ambiental e Consultoria Ltda. Brasília, 64p. 2004a.

NOVACAP – Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil. **Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD) – Cascalheira EPCL – DF-095 – Projeto Básico**. Geotec - Engenharia, Tecnologia Ambiental e Consultoria Ltda. Brasília, 74p. 2004b.

NOVACAP – Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil. **Plano de Exploração e Recuperação de Área Degradada (PRAD)** – Jazida localizada no lado esquerdo da DF-130 – km 8,5 – a partir da interseção das DF-250/DF-130 – Planaltina-DF. Brasília, 25p. 2000.

NOVACAP – Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil. **Plano de Exploração e Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD)** – Jazida J-08, margem esquerda da BR-060, Km 14,5. Brasília, 1999. 25 p. Processo nº 191.000.819/98.

NOVACAP – Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil. **Projeto Cascalheira Modelo**. Diretoria de Urbanização. Brasília, 1998. 36 p. Apostila.

NURAD/GRN/DITEC. **Extração mineral no Distrito Federal**. Instituto de Ecologia e Meio Ambiente do Distrito Federal – IEMA/SEMATEC. Dezembro de 1996. 37 p., mimeo, 1996.

OLIVEIRA, J.R.A.; MENDES, L. C.; VIVALDI, L. Carbono da biomassa microbiana em solos de cerrado sob vegetação nativa e sob cultivo: avaliação dos métodos fumigação-incubação e fumigação-extração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.4, p.863-871, out./dez.2001.

PINHEIRO, C. Q.; CORRÊA, R. S. Determinação da dose ideal de composto de lixo, lodo de esgoto e esterco bovino para produção de *Inga marginata* em substrato minerado. In: **3º Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental**. Tecnologia Ambiental, Trabalhos Completos, Resíduos Sólidos. CD ROM. Universidade Católica de Brasília, 3 a 7 de outubro de 2004. Taguatinga, DF.

PINHEIRO, C. Q.; SILVA, L. C. R.; CORRÊA, R. S. Survival and growth of baru (*Dipterix alata* Vog.) treated with sewage sludge, composted garbage or cattle manure on mined spoils in the brazilian Cerrado In: **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, Special Issue, 789-795, May, 2005.

RAMOS, M. L. G.; PINTO, R.; CASTRO, V. G.; OLIVEIRA, J. R. A. Impacto da degradação do solo na atividade microbiana e características físico-químicas do solo da Fazenda Água Limpa - UnB. In: **Congresso Brasileiro de Microbiologia**, 1999, Salvador. Resumos...FINEP, FIOCRUZ, CNPq, 1999. p. 289.

RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E.; MUNIZ, J. A.; CURI, N.; FAQUIN, V. Crescimento inicial de espécies florestais de diferentes grupos sucessionais em resposta a doses de fósforo. **Pesq. agropec. bras.**, nov. 1999, vol.34, no.11, p.2071-2081.

RODRIGUES, R.; GANDOLFI, S. Conceitos, tendências e ações para a recuperação de matas ciliares. In: RODRIGUES, R. E.; LEITÃO FILHO, H. (Ed.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: EDUSP - FAPESP, p. 235-247, 2001.

SALVADOR, J. L. G. **Considerações sobre as matas ciliares e a implantação de reflorestamentos mistos nas margens de rios e reservatórios**. 2ed. rev. at. CESP: São Paulo. 1989. 15p. (Série divulgação e informação, 105)

SANTANA, D. P. Qualidade do solo: uma visão holística. In: **Boletim Informativo – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.7, n.2, p.15-18, 2002.

SANTOS, J. H. S.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A.; SOUZA, A. L.; SANTOS, E. S.; MEUNIER, I. M. J. Distinção de grupos ecológicos de espécies florestais por meio de técnicas multivariadas. **Revista Árvore**, v. 28, n. 3, Viçosa, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-67622004000300010&script=sci_arttext&lng=pt>. Acessado em: 09/01/2006.

SILVA, A. F.; OLIVEIRA, R. V.; SANTOS, N. L. R.; PAULA, A. Composição florística e grupos ecológicos das espécies de um trecho de floresta semidecídua submontana da Fazenda São

Geraldo, Viçosa – MG. **Revista Árvore**, v. 27, n.3, maio/junho de 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-67622003000300006&script=sci_arttext&lng=pt>. Acessado em: 09/01/2006.

SILVA, L. C. R.; PINHEIRO, C. Q.; CORRÊA, R. S. Avaliação de estabelecimento e crescimento de seis espécies arbóreas do cerrado em área degradada por mineração. In: **VI Simpósio Nacional e Congresso Latino-americano de Recuperação de Áreas Degradadas**. Curitiba: Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas – SOBRADE. p.609, 2005. (resumo)

SIMS, G. K. Biological degradation of soil. In: **Advances in Soil Science**, New York, 24: 289 – 330. 1989.

SIQUEIRA, J. O.; SOARES, C. R. F. S. Micorrizas na reabilitação de solos degradados. In: **XXX CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**, Recife – PE, 2005. CD-ROOM.

SOBRADE - SOCIEDADE BRASILEIRA DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS. **Dicionário**. Disponível em:<www.sobrade.com.br>. Acessado em: 10/10/2005.

TASSARA, H. **Frutas no Brasil**. São Paulo: Empresa das Artes, 1996. Disponível em: <<http://www.bibvirt.futuro.usp.br/especiais/frutasnobrasil/>>. Acessado em: 09/01/2006.

VASCONCELOS, A. N. et al. Projeto piloto de recuperação de uma cascalheira na estação ecológica do Jardim Botânico de Brasília. In: **SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS** – SINRAD. Ouro Preto: SOBRADE, 1997, p. 105 – 109.

CAPÍTULO ÚNICO

Trabalho a ser encaminhado para publicação na Revista *Árvore*

QUALIDADE DO SUBSTRATO E REVEGETAÇÃO DE UMA CASCALHEIRA NO DISTRITO FEDERAL

Gustavo Henrique Marquim Firmo de Araujo ⁽¹⁾, Rodrigo Studart Corrêa ⁽²⁾ e Wenceslau J. Goedert ⁽³⁾

⁽¹⁾ Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, E-mail: gustavoh@agricultura.gov.br;

⁽²⁾ Universidade de Brasília, E-mail: rodmanga@yahoo.com.br;

⁽³⁾ Universidade de Brasília, E-mail: goedert@unb.br.

RESUMO

Um experimento foi implantado em setembro de 2003 com o objetivo geral de avaliar processos de revegetação em uma área degradada pela extração de cascalho no Distrito Federal. Seis espécies arbóreas foram plantadas sob quatro diferentes manejos: (T1) plantio em covas abertas e adubadas sobre o substrato minerado; (T2) T1 mais aplicação de cobertura morta em torno da muda; (T3) T1 mais camada herbácea de *Stylosanthes* spp cultivado sobre o substrato escarificado e adubado; (T4) T3 mais cobertura morta em torno das mudas. As espécies arbóreas testadas foram: abiu (*Pouteria ramiflora*), barú (*Dipteryx alata*), gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium*), gueroba (*Syagrus oleraceae*), ingá (*Inga marginata*) e jatobá (*Hymenaea courbaril*). Durante vinte e um meses foram avaliadas a qualidade do substrato, em termos de atributos físicos, químicos e biológicos, e o processo de revegetação, em termos do grau de cobertura rasteira e do desenvolvimento das espécies arbóreas. Os resultados mostraram uma melhoria na qualidade do substrato das áreas escarificadas e cultivadas com camada herbácea, resultante, principalmente, do aumento expressivo na taxa de infiltração de água. Por outro lado, o desenvolvimento das árvores foi maior nas áreas sem escarificação e sem camada herbácea. *A. fraxinifolium*, *S. oleraceae* e *I. marginata* desenvolveram-se melhor e cobriram mais a superfície da área que as outras espécies arbóreas. O plantio simultâneo de um estrato arbóreo e herbáceo (T3), apesar de mais dispendioso, apresenta uma relação benefício/custo bastante semelhante à calculada para o manejo com plantio exclusivo de árvores (T1), com pequena vantagem para T3.

Palavras-chave: mineração, revegetação, áreas degradadas, recuperação, estilosantes, benefício/custo.

SUBSTRATUM QUALITY AND REVEGETATION OF A GRAVEL MINE IN BRAZILIAN FEDERAL DISTRICT

ABSTRACT

This work aimed to evaluate four revegetation processes on a gravel mine at nearby Brasilia City, Brazil. An experiment was settled in September 2003, involving three variables, which resulted in four different managements. Six tree species were cultivated on: (T1) fertilized pits excavated in barren substratum; (T2) T1 plus mulch applied on the surface around the seedlings; (T3) T1 established on a green cover of *Stylosanthes* spp cultivated on ripened and fertilized substratum, (T4) T3 plus mulching around the seedlings. *Pouteria ramiflora*, *Dipteryx alata*, *Astronium fraxinifolium*, *Syagrus oleraceae*, *Inga marginata*, and *Hymenaea courbaril* tree species were tested on the field for twenty-one months. Then, trees were measured and the quality of the reconstructed soil was evaluated for physical, chemical and biologic parameters. Results show better growing conditions where the substratum was ripened and green-covered (T3 and T4) mainly due to an expressive increase in water rate infiltration. However, trees development were better where the substratum was not ripened (T1 and T2). *A. fraxinifolium*, *S. oleraceae*, and *I. marginata* have developed better and covered more substratum surface than the other tree species. Ripping mined surface and establishing an herbaceous layer (T3) has showed a small advantage under T1 management, in relation to benefits/costs ratio.

Key words: gravel mining, revegetation, degraded site, reclamation, *Stylosanthes*, benefit/cost.

INTRODUÇÃO

A atividade minerária já degradou 0,6% da área do Distrito Federal - DF. Essas áreas foram abandonadas sem nenhum processo de recuperação (Corrêa et al., 2004a).

A remoção do perfil do solo para extração de areia, terra e cascalho, utilizados em obras de infra-estrutura, resulta em áreas mineradas e deixa exposto o subsolo ou a rocha matriz, causando mudanças drásticas no ambiente local e na circunvizinhança, com perdas de biodiversidade. A composição do material exposto após a mineração varia muito de um local para outro e, de um modo genérico, é denominado de substrato. Em geral, os substratos de áreas mineradas apresentam um conjunto de atributos físicos, químicos e biológicos muito diverso daquele presente em um solo propriamente dito, que possui horizontes diferenciados, estrutura própria e características particulares (Goedert e Corrêa, 2004).

Dentre as principais características dessas áreas mineradas estão: i) a baixa capacidade de infiltração de água pelo substrato (Leite et al., 1994; Corrêa e Leite, 1997), resultando em processos erosivos e em baixa recarga de aquíferos; ii) alta compactação, impedindo o desenvolvimento satisfatório de raízes (Leite et al., 1994); iii) substratos com baixos teores de carbono e nutrientes (Martins et al., 2001; Corrêa e Leite, 1997; Corrêa e Melo Filho, 2004); iv) cavas muito profundas, dificultando o processo de sucessão secundária, que se torna extremamente lento em uma mineração de cascalho (Corrêa, 2004). Em consequência disso, a capacidade de regeneração natural de locais escavados no cerrado é baixa e insuficiente para cobrir ou estabilizar espontaneamente o substrato minerado. O substrato, em muitas situações, é o fator limitante de maior grandeza em processos de reabilitação de áreas mineradas e o seu manejo pode onerar muito esse processo (Faria e Chada, 2003). A intervenção humana torna-se, quase sempre, indispensável para promover a recomposição vegetal de forma econômica e eficiente.

De acordo com a legislação ambiental vigente, é de responsabilidade do empreendedor que explora minerais a recuperação da área degradada após a exploração da jazida. O Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) é um dos instrumentos de controle ambiental previsto no processo de licenciamento de cascalheiras no Distrito Federal. Apesar da obrigatoriedade legal, não se tem verificado na prática a aplicação da lei e, quando executados, grande parte dos projetos não atinge o seu objetivo proposto (Castro, 2002). No DF, a falta de parâmetros para se declarar uma área como “oficialmente” recuperada pode estar contribuindo para esse fato. Almeida e Sanches (2005), com base na Resolução da Secretaria do Meio Ambiente, Resolução SMA nº 42, de 16 de setembro de 1996, propõem o uso de indicadores com a finalidade de facilitar a avaliação dos resultados da revegetação de áreas de extração de areia.

A revegetação é a técnica de recuperação de áreas mineradas mais utilizada e recomendada no Distrito Federal. O modelo clássico adotado para a prática de revegetação de áreas mineradas consiste em estabelecer um estrato arbóreo-arbustivo sobre uma camada herbácea, concomitantemente. Esse modelo associa a estabilidade da paisagem, proporcionada pela camada rasteira, ao ganho ecológico de se estabelecer um bosque arbóreo de espécies nativas. De maneira geral, os PRAD elaborados para recuperação de cascalheiras visam a,

primeiramente, tornar o substrato apto ao recebimento de plantas e, em seguida, identificar espécies nativas que são capazes de iniciar processos de sucessão ecológica.

Escarificação, recomposição topográfica, incorporação de matéria orgânica e de fertilizantes, aplicação de cobertura morta sobre a superfície e a implantação de uma camada herbácea rasteira são os meios mais utilizados para transformar a camada superficial de áreas degradadas pela mineração em substratos adequados ao desenvolvimento de plantas.

Apesar de todos os esforços já realizados no sentido de desenvolver práticas para recuperação de áreas degradadas pela mineração, sabe-se que a aplicabilidade dessas técnicas não pode ser adotada de forma generalizada, em função das características específicas de cada região e do tipo de mineração.

Considerando a baixa efetividade ambiental dos projetos de revegetação de áreas degradadas pela extração de cascalho no DF e a carência de estudos específicos para recuperação de cascalheiras, verifica-se a necessidade de se desenvolver tecnologias e procedimentos que orientem o processo de recuperação dessas áreas, visando a aprimorar as técnicas atualmente recomendadas pelos PRAD. Nesse sentido, este trabalho estudou o processo de revegetação em uma área degradada pela extração de cascalho laterítico, avaliando os efeitos da escarificação e do plantio de *Stylosanthes* spp nos atributos físicos, químicos e biológicos do substrato, além da sobrevivência e do desenvolvimento de seis espécies arbóreas do cerrado, cultivadas sob quatro diferentes manejos, e estimando a relação benefício técnico / custo financeiro dos diferentes manejos.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em parceria com a Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil - NOVACAP em uma área de cascalheira explotada desde 2000, na DF-130, Km 8,5 do balão Estanislau das DF-250/130, região administrativa do Paranoá (Anexo A). O solo original era um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico Plíntico e a profundidade da cava variou entre 2 e 3 metros. A cascalheira apresenta declividade baixa a moderada. A área experimental foi protegida contra possíveis enxurradas, com a construção de um terraço de base estreita.

A precipitação pluviométrica durante o período do estudo, registrada na Estação Meteorológica Principal da Embrapa Cerrados localizada nas coordenadas geográficas 15° 35' 30" de latitude sul e 47° 42' 30" de longitude oeste, a 1.007m de altitude, próxima à área experimental, foi de: 1.385,3mm entre dezembro de 2003 e abril de 2004, 99,7mm entre maio e outubro de 2004, 1.080,4mm entre novembro de 2004 e maio de 2005, e 185,3mm entre abril e setembro de 2005 (Figura 1).

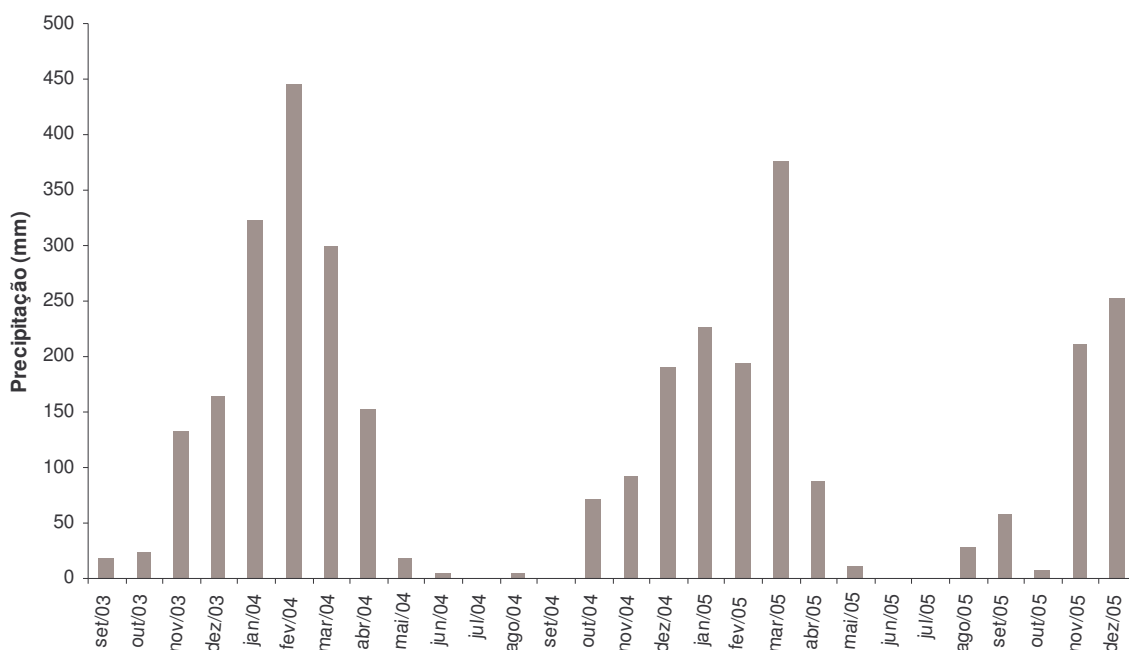


Figura 1. Precipitação mensal registrada na Estação Meteorológica Principal da Embrapa Cerrados - CPAC entre setembro de 2003 e dezembro de 2005.

O experimento consistiu em: i) dois tratamentos da camada de substrato, sem escarificação (SNE) e com escarificação mais plantio de leguminosa (SE + L); ii) plantio de seis diferentes espécies arbóreas do cerrado; e iii) dois diferentes manejos da cova de plantio, com e sem cobertura morta. A partir da combinação dessas variáveis, obteve-se um delineamento experimental em fatorial 6x2x2, com seis repetições.

A área experimental foi dividida em 24 módulos, distribuídos aleatoriamente, de 8m x 12m (96m²). Em cada um deles foram plantadas, aleatoriamente, seis diferentes espécies arbóreas, sendo 16m² para cada planta (Figura 2). Em metade dos módulos, o substrato da

cascalheira não foi descompactado, mantendo-se na sua forma original. Essas áreas serão tratadas, ao longo deste trabalho, como módulos com substrato não escarificado (SNE). A outra metade foi descompactada por escarificação, adubada e semeada com uma leguminosa rasteira para formação do estrato herbáceo. Essas áreas serão chamadas de módulos com substrato escarificado mais leguminosa (SE + L). Metade das mudas das espécies arbóreas plantadas recebeu cobertura morta (CM) em torno das covas de plantio. A outra metade não recebeu a cobertura morta composta por cavaco de madeira fornecido pela NOVACAP (Viveiro 2). Esse material foi espalhado num raio de 50cm em torno do coleto da muda.

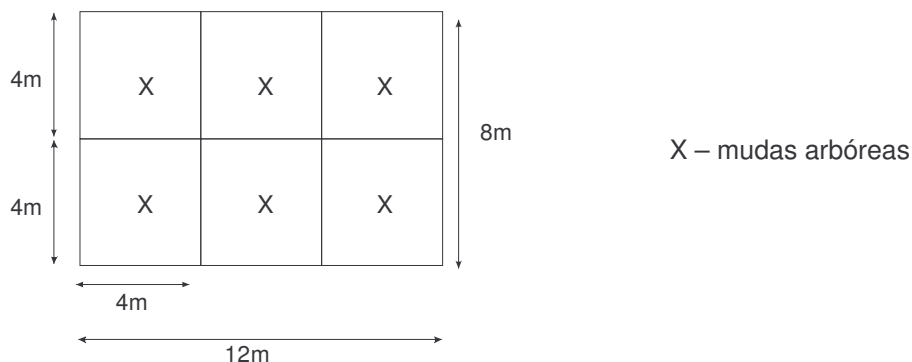


Figura 2. Croqui de um módulo experimental da área da cascalheira, com seis espécies arbóreas diferentes.

Em resumo, cada uma das seis espécies arbóreas foi plantada sob dois manejos do substrato e dois manejos da cova de plantio, resultando em quatro diferentes tratamentos (manejos) da camada de substrato minerado da cascalheira:

- **Tratamento 1 (SNE – CM)** – substrato não escarificado (SNE) e sem cobertura morta (CM) na coroa da cova de plantio.
- **Tratamento 2 (SNE + CM)** – substrato não escarificado (SNE) mais cobertura morta (CM) na coroa da cova de plantio.
- **Tratamento 3 (SE + L – CM)** – substrato escarificado (SE), adubado e semeado com *Stylosanthes* spp (L) para formação do estrato herbáceo; sem cobertura morta (CM) na coroa da cova de plantio.
- **Tratamento 4 (SE + L + CM)** – substrato escarificado (SE), adubado e semeado com *Stylosanthes* spp (L); com cobertura morta (CM) na coroa da cova de plantio.

As seis espécies arbóreas testadas na área da cascalheira também foram plantadas, com seis repetições, em área de cerrado desmatado, não minerado, convertido em pastagem, adjacente à área experimental, servindo como **controle**. Não há histórico disponível desta área, que aparenta já ter sido cultivada no passado. A cobertura atual é de *Brachiaria decumbens*, que se encontrava em bom estado vegetativo.

No total, foram plantadas 144 mudas na área experimental da cascalheira e 36 na área controle. A adubação e o tamanho das covas foram os mesmos em todos os tratamentos, inclusive na área controle.

A camada de solo superficial estocada (“*Top Soil*”) não foi espalhada sobre o substrato da área experimental em nenhum dos tratamentos. Na maioria das áreas mineradas, abandonadas sem recuperação, no Distrito Federal, não houve a preocupação de se armazenar esse material para uso posterior. Optou-se, então, por não utilizar o *Top Soil*.

A **escarificação** cruzada foi realizada em setembro de 2003, nos módulos SE + L, a uma profundidade de 50cm, com trator de esteira modelo D5B acoplado com subsolador de hastes espaçadas 50cm uma da outra.

As **covas de plantio** foram abertas com equipamento denominado “demolidor de cupim” acoplado ao trator. As dimensões das covas foram de 60cm de largura x 80cm de comprimento x 40cm de profundidade (180 litros), com fundo côncavo, devido à característica de trabalho do equipamento. A abertura e a adubação das covas foi feita no início de dezembro de 2003. O espaçamento entre as covas foi de 4 x 4 metros, alcançando uma densidade de 625 árvores ha⁻¹.

A **adubação** das covas e da camada de substrato escarificado foi calculada em função de recomendações comumente adotadas em PRAD para áreas de exploração de cascalho. As covas receberam 60L de composto de lixo urbano fornecido pela NOVACAP e adquirido na usina de triagem da BELACAP; 200g de calcário dolomítico; 250g da fórmula 04-14-08; e 20g de FTE BR-12 (como fonte de micronutrientes). O substrato dos tratamentos 3 e 4 recebeu 200g m⁻² de calcário dolomítico; 65g m⁻² da fórmula 04-14-08; 20g m⁻² de FTE BR-12; e 4L m⁻² de composto de lixo urbano. A incorporação foi feita com enxada a uma profundidade de 10cm.

O ***Stylosanthes spp*** (Mineirão ou estilosantes), leguminosa do cerrado, foi semeado a lanço nos módulos escarificados e adubados dos tratamentos 3 e 4 (SE + L). Utilizaram-se 10kg de sementes por hectare para garantir uma boa cobertura da camada rasteira, visto que a camada superficial do solo não foi utilizada sobre o substrato da cascalheira.

A **manutenção** da área experimental consistiu nas seguintes atividades: coroamento das mudas, com duas capinas ao ano, uma no início e outra no final da estação chuvosa; uma roçagem da camada herbácea dos módulos com substrato escarificado (SE + L), em março de 2005, a uma altura de 20cm da superfície do substrato da cascalheira; e controle de formigas com isca formicida. Para avaliar a resistência das mudas arbóreas ao ataque de doenças e pragas, não houve aplicação de fungicidas nem de inseticidas.

A **seleção das espécies arbóreas** considerou critérios de diversidade biológica como características de crescimento lento ou rápido, características ecológicas (atrativas da fauna, dispersão de sementes) e de habitat, além da disponibilidade de mudas no viveiro de plantas da NOVACAP (Tabela 1). Dentre as espécies escolhidas para o estudo, três são leguminosas, duas se associam simbioticamente com *Rhizobium* (*Inga marginata* e *Dipteryx alata*) e a outra não (*Hymenaea courbaril*). *I. marginata*, espécie de crescimento rápido, é bastante recomendada e utilizada para revegetação de áreas degradadas e seu bom desempenho já foi constatado em outros estudos (Mesquita e Corrêa, 2004; Pinheiro e Corrêa, 2004; Silva et al., 2005). *Syagrus oleraceae*, palmeira nativa do cerrado, ainda não tinha sido testada em projetos de revegetação de cascalheira.

Tabela 1. Espécies arbóreas, nativas de cerrado, testadas nos quatro tratamentos e no controle.

Nome comum	Nome científico	Família/subfamília	Habitat/ecologia
Gonçalo-alves	<i>Astronium fraxinifolium</i>	Anacardiaceae	M, Mg, C / p, s, h
Abiu	<i>Pouteria ramiflora</i>	Sapotaceae	C, Ce / h
Ingá	<i>Inga marginata</i>	Leguminosae– Mimosoideae	M, Mg, Ce / p, h
Jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i>	Leguminosae– Caesalpinoideae	C / c, h
Barú	<i>Dipteryx alata</i>	Leguminosae – Faboideae	M, C, Ce / s, h
Gueroba	<i>Syagrus oleraceae</i>	Arecaceae (Palmae)	M, C / h

Legenda:

Habitat: **M** (Mata Mesofítica), **Mg** (Mata de Galeria), **C** (Cerrado), **Ce** (Cerradão)

Ecologia: **p** (pioneira), **s** (secundária), **c** (clímax), **h** (heliófito)

Fontes: Lorenzi (1992); Lorenzi (1998); Silva et al. (2003); Kageyama et al. (1990); Davide et al. (1995); Carvalho (1994); Carvalho (2003).

O plantio do estrato herbáceo e do estrato arbóreo se deu em dezembro de 2003. O *Stylosanthes* spp foi semeado após o plantio das mudas arbóreas. Os valores médios do porte e do diâmetro do coleto das mudas no momento do plantio eram, respectivamente: 59,2cm e 0,92cm para o barú; 87,4cm e 1,16cm para o ingá; 29,7cm e 0,53cm para o abiu; 65,8cm e 0,81cm para o jatobá; 100,7cm e 1,21cm para o gonçalo-alves; e 92,6cm e 1,33cm para a gueroba (Figura 3). As mudas arbóreas foram tutoradas com tutor de madeira.

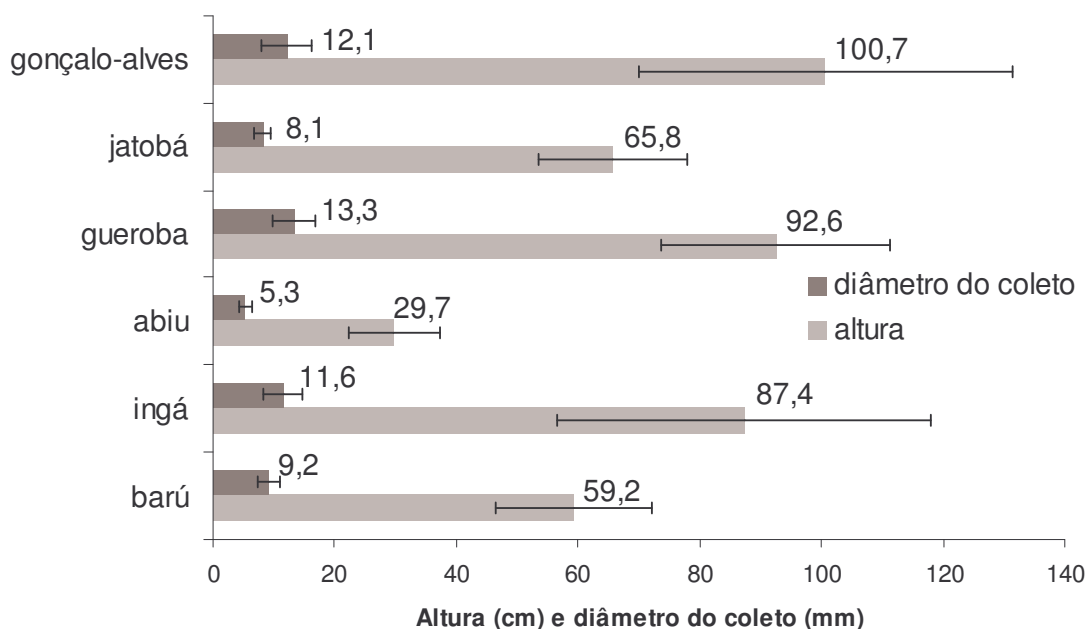


Figura 3. Altura média (cm) e diâmetro médio do coleto (cm) das mudas por ocasião do plantio, em dezembro de 2003.

O substrato da cascalheira e o solo do cerrado nativo e desmatado foram analisados no início do experimento e apresentaram as seguintes características químicas e físicas (Tabela 2).

Tabela 2. Características químicas e físicas, na profundidade de 0 a 20 cm, do solo do cerrado nativo e desmatado, e do substrato original da cascalheira, no Paranoá - DF.

Área	Química											Física			
	pH	MO	Al	H+Al	Ca	Mg	P	K	Na	CTC	V	CC	Areia	Silte	Argila
	água	%			Cmolc dm ⁻³		mg dm ⁻³		Cmolc dm ⁻³		%			%	
S	5,5	1,1	0,0	2,6	1,2	0,6	1,0	0,1	0,0	4,4	41,5	69,0	38,8	17,5	43,8
CN	4,9	2,8	67,0	7,2	0,3	0,2	1,6	0,1	0,0	7,8	8,0	64,0	47,5	10,0	42,5
CD	4,9	3,1	0,6	7,2	0,3	0,2	1,5	0,2	0,0	7,9	9,0	73,0	45,0	12,5	42,5

Legenda: **S** - substrato original da cascalheira; **CN** - cerrado nativo; **CD** - cerrado desmatado; **CC** - calhau/cascalho.

Qualidade do substrato

Atributos físicos

Foram retiradas amostras, com dezesseis repetições, do substrato escarificado e não escarificado e do solo do cerrado desmatado para determinação da densidade global, da porosidade e da capacidade de campo, em outubro de 2003, logo após a escarificação do substrato para implantação do experimento. A densidade do solo foi obtida em amostras indeformadas, coletadas pelo método do anel volumétrico, com volume interno de 130cm³, conforme metodologia EMBRAPA (1997). O teste de Tukey a 5% foi aplicado para comparação das médias, após a análise de variância pelo programa estatístico SAS - Statistical Analysis System (SAS Institute, 1997).

A permeabilidade do substrato da cascalheira foi medida por meio de testes de infiltração utilizando-se o método dos anéis concêntricos (Reynolds, 1992) nas áreas escarificadas e não escarificadas, com 12 repetições em cada área; e na área do cerrado desmatado e do cerrado nativo adjacente ao experimento, com 3 repetições. As leituras da lâmina infiltrada foram realizadas de 15 em 15 minutos até completar 150 minutos do início da infiltração. A taxa de infiltração média para cada intervalo de tempo foi calculada pela equação 1:

$$i = \frac{h_t - h_{t-1}}{t_t - t_{t-1}} \quad (1)$$

Sendo i a taxa de infiltração média do intervalo de tempo (cm h⁻¹), h_t (cm) a leitura no tempo t , e t_t (h) o tempo no qual se realizou a leitura. Considerou-se que a taxa média representa a taxa de infiltração no tempo médio entre as duas leituras. Para este estudo, utilizou-se a taxa calculada entre 135 e 150 minutos.

A infiltração acumulada em 2,5 horas também foi calculada, representando o volume total de água que o solo/substrato foi capaz de absorver nesse intervalo de tempo.

Os testes de infiltração foram feitos em duas épocas: o primeiro em março de 2004 e o segundo em dezembro do mesmo ano, exceto para as áreas do cerrado desmatado e nativo, onde os testes de infiltração foram realizados apenas em dezembro de 2004.

Atributos químicos

Análises químicas de rotina foram feitas nos laboratórios da SOLOQUÍMICA - Análises de Solo Ltda., conforme metodologia EMBRAPA (1997), em duas épocas: a primeira em fevereiro de 2004, 60 dias após a adubação, e a segunda, em abril de 2005.

Foram coletadas amostras das camadas de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm dos módulos com substrato não escarificado (SNE) e dos módulos com substrato escarificado, calcariado, adubado e plantado com *Stylosanthes* spp (SE + L), com duas repetições. Cada amostra composta foi formada por seis amostras simples retiradas uma de cada módulo experimental. As covas de plantio também foram amostradas com duas repetições para cada tratamento. As amostras compostas das covas foram formadas por nove amostras simples retiradas aleatoriamente. A camada de 0 a 20cm do solo do cerrado nativo (CN) e do cerrado desmatado (CD) adjacente à área do experimento também foi analisada nas duas épocas e serviu como referência para a construção do Índice de Qualidade do Solo/Substrato - IQS.

Atributos biológicos

Amostras para análise do carbono da biomassa microbiana (CBM), nitrogênio total (NT), respiração basal (RB) e carbono orgânico (Corg) foram retiradas na profundidade de 0 a 10 cm, com três repetições, sendo cada amostra formada por 5 subamostras. As análises foram realizadas no laboratório de biologia do solo da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da UnB. Foram amostrados o substrato escarificado (SE + L) e o não escarificado (SNE), além das covas de plantio de *S. oleraceae* e *I. marginata* dos quatro tratamentos e da área controle no cerrado desmatado. O solo do cerrado nativo e do cerrado desmatado adjacentes ao experimento também foram avaliados.

A determinação dos atributos biológicos foi realizada em duas épocas: a primeira em maio de 2004 e a segunda em junho de 2005, ao final da primeira e da segunda estação chuvosa, respectivamente.

O CBM foi medido pelo método de fumigação-incubação (Jenkinson e Powlson, 1976). O NT foi determinado pelo método de Bremner e Mulvaney (1982). A RB foi medida pelo método de Jenkinson e Powlson (1976).

O quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) foi obtido pela divisão de RB por CBM, e expresso em $\text{mg C-CO}_2/\text{mg CBM dia}^{-1}$. A relação CBM:Corg foi obtida dividindo CBM por 10 e, em seguida, por Corg, com os resultados expressos em porcentagem. A relação Corg:NT foi obtida por divisão simples.

Os dados foram divididos em dois grupos e analisados pelo programa estatístico SAS - Statistical Analysis System (SAS Institute, 1997). Um grupo referente às amostras das covas e outro referente às amostras da camada de solo do cerrado e do substrato da cascalheira. Os efeitos principais foram separados pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Índice de Qualidade do Solo/Substrato (IQS)

A avaliação da qualidade do substrato foi baseada no modelo desenvolvido por Araújo (2004) com base no trabalho de Islam e Weil (2000b) e considerou os seguintes atributos de qualidade: taxa de infiltração de água no solo (TI), teor de carbono orgânico (Corg) e teor de carbono da biomassa microbiana (CBM). Foi selecionado um atributo para representar a qualidade física, um para a qualidade química e um para a biológica, os quais foram mensurados em dois momentos distintos.

Os resultados das análises de TI, Corg e CBM, foram agrupados em: **Momento I** – início da revegetação (período que vai de dezembro de 2003 a maio de 2004); e **Momento II** – cerca de um ano e meio após a implantação do experimento.

Para a montagem do modelo foram adotadas as seguintes premissas:

1. Os três indicadores de qualidade medidos para o solo do cerrado nativo foram adotados como referência, sendo considerada sua qualidade igual a 100%;
2. Considerou-se o valor da taxa de infiltração do solo do cerrado nativo como constante e estável ao longo do tempo, portanto, o valor foi o mesmo nos dois momentos avaliados. Os valores de Corg e CBM foram os medidos nos dois momentos;
3. As três categorias de atributos de qualidade física, química e biológica foram consideradas igualmente importantes para a determinação da qualidade, sendo atribuído a cada categoria o mesmo peso no modelo.

O IQS foi calculado para o substrato escarificado (SE + L) e não escarificado (SNE), e para as áreas do cerrado nativo (CN) e desmatado (CD). Para cada categoria de atributos foi atribuído o valor de 100%.

Para a construção do modelo foram utilizados os teores de Corg encontrados na camada de 0 a 20 cm do solo e do substrato e os valores de CBM da camada de 0 a 10 cm.

Em seguida, os dados de cada indicador foram colocados em um diagrama com três vértices representando os atributos físico, químico e biológico, variando de 0 a 100%, podendo atingir valores maiores que 100% em casos onde o valor do atributo for superior à área de referência. No diagrama, é delimitada uma linha correspondente a 100%, a qual representa o cerrado nativo.

O valor do IQS, que agrega os três atributos do solo/substrato, foi obtido pela soma dos valores de TI, Corg e CBM no substrato da cascalheira e do cerrado desmatado divididos pelo valor no solo do cerrado nativo.

Avaliação do desenvolvimento e sobrevivência do estrato arbóreo e herbáceo

Para avaliar o desenvolvimento e a sobrevivência das espécies arbóreas, foram tomadas as medidas de altura e diâmetro do coleto. As medições foram feitas em dezembro de 2003, por ocasião do plantio, em maio e novembro de 2004, e em abril e setembro de 2005, respectivamente, cinco, onze, dezesseis e vinte e um meses após o plantio. A altura foi medida com uma régua graduada, tomando-se como referência o galho mais alto, esticado ou, no caso das plantas de *S. oleraceae*, a ponta da folha mais alta, esticada. O diâmetro do coleto foi medido com o auxílio de um paquímetro ao nível do solo. Devido à característica desuniforme do estipe de *S. oleraceae*, o diâmetro do coleto dessas plantas foi a média de duas medidas.

Os valores do incremento em altura e em diâmetro do coleto foram submetidos à análise de variância pelo programa estatístico SAS. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% e 10% de probabilidade.

Também foram construídas curvas de crescimento em altura e em diâmetro do coleto de cada espécie arbórea plantada nos tratamentos 1 e 2 (SNE) e nos tratamentos 3 e 4 (SE + L), avaliando o desenvolvimento nas diferentes estações do ano.

O desenvolvimento do estrato herbáceo foi avaliado, em dezembro de 2005, mensurando-se visualmente o grau de cobertura de cada módulo experimental. A avaliação foi realizada por três pessoas, que atribuíram nota 0 (zero) para os módulos com grau de cobertura igual a 0% (zero por cento) (nenhum sinal de vegetação rasteira); nota 1 (um) para até 25% de grau de cobertura; nota 2 (dois) para 26% a 50% de grau de cobertura; nota 3 (três) para 51% a 75% de cobertura; e nota 4 (quatro) para grau de cobertura acima de 75% (vegetação rasteira cobrindo mais de 75% do substrato minerado).

Parâmetros fitossociológicos

O índice de diversidade de Shannon (H') e o Índice de Valor de Cobertura (IVC) foram calculados e utilizados como parâmetros fitossociológicos, conforme descrito em Felfili e Rezende (2003), com adaptação, para avaliar aspectos ecológicos da vegetação.

$$H' = -\sum_{i=1}^n p_i \ln(p_i) \quad (2)$$

Onde:

H' = índice de diversidade de Shannon

ln = logaritmo neperiano

p_i = n_i/n

n_i = número de indivíduos amostrados da espécie i

n = número total de indivíduos amostrados

$$\text{IVC} = \text{DR} + \text{DoR} \quad (3)$$

Onde:

IVC = índice de valor de cobertura

DR = densidade relativa = $(n/N).100$

DoR = dominância relativa = $(gi/G).100$

n = número de indivíduos da espécie *i*

N = número total de indivíduos

$gi = \pi / 4 * d^2$ – área basal total da espécie *i*

d = diâmetro do coleto de cada indivíduo, em centímetros

G = somatória das áreas basais individuais (*gi*)

A área basal foi calculada com base nos valores do diâmetro à altura do coleto.

Índice de Qualidade da Cascalheira (IQC)

Para avaliar a evolução da qualidade da área revegetada da cascalheira foi proposto um modelo para o cálculo de um **Índice de Qualidade da Cascalheira (IQC)**. Os parâmetros utilizados para embasar o modelo foram:

- a) **Qualidade do substrato** – representado pelo Índice de Qualidade do Solo/Substrato (IQS), conforme descrito.
- b) **Desenvolvimento do estrato herbáceo** – representado pelo grau de cobertura vegetal da camada rasteira, conforme avaliação descrita.
- c) **Fitossociológico** – representado pelo índice de diversidade de Shannon (*H'*), conforme descrito anteriormente.

Para a montagem do modelo, adotaram-se as seguintes premissas:

- a) Visto que não existem parâmetros para indicar quando uma cascalheira já pode ser considerada recuperada, os parâmetros do cerrado nativo foram adotados como referência, apesar do objetivo final dessa revegetação não ser o retorno da área ao seu estado original, para o qual se utilizaria o termo restauração, mas sim a recuperação da área. O termo recuperação indica que o manejo adotado visa ao retorno da área degradada a um estado biológico apropriado, próximo, mas não idêntico ao original.
- b) O valor do Índice de Shannon (*H'*) utilizado para o cerrado nativo foi a média aritmética dos valores encontrados por Felfili e Silva (1993) para o cerrado *sensu stricto*.
- c) O grau de cobertura da camada rasteira para o cerrado nativo foi adotado como maior que 75% (correspondente à nota 4 da avaliação do grau de cobertura).
- d) Os três parâmetros de qualidade da cascalheira foram considerados igualmente importantes para a determinação do índice, sendo atribuído a cada um o mesmo peso no modelo.

O IQC foi calculado para as áreas com substrato escarificado (SE + L) e não escarificado (SNE), e para a área do cerrado desmatado (CD).

A montagem do diagrama e o cálculo do índice seguiram o mesmo raciocínio utilizado para a modelagem do IQS.

Custo de revegetação da cascalheira

O custo de revegetação da cascalheira foi calculado com base nos valores fornecidos pelo Serviço de Apropriação e Controle do Departamento de Parques e Jardins da NOVACAP. Foram considerados apenas os custos variáveis de cada tratamento. As planilhas completas dos orçamentos encontram-se nos anexos B.1, B.2, B.3 e B.4.

Benefício técnico da revegetação

Os valores dos Índices de Qualidade da Cascalheira (IQC) refletem a qualidade da área degradada e, portanto, o benefício técnico da revegetação. O IQC da área sob o manejo SE + L e o da área manejada sem escarificação (SNE) no Momento II foi subtraído do valor calculado do IQC para a área minerada antes do início do processo de recuperação. Esses valores representaram o ganho em qualidade, ou seja, o benefício gerado pelos diferentes manejos estudados.

$$\text{Benefício técnico} = \text{IQC}_y - \text{IQC}_r \quad (4)$$

Onde:

IQC_y – Índice de qualidade da área sob o manejo y (SE + L e SNE).

IQC_r – Índice de qualidade da área original da cascalheira, antes da revegetação.

O valor monetário do benefício técnico não foi calculado. Para facilitar o raciocínio e a discussão dos resultados, a cada ponto percentual do Índice de Qualidade da Cascalheira (IQC) foi atribuído o valor de R\$ 1.000,00.

Relação benefício técnico / custo financeiro

A relação benefício/custo foi obtida pela razão entre os valores do benefício técnico da revegetação e os custos variáveis da revegetação nesses dois manejos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Qualidade do substrato

Atributos físicos

Os resultados das análises de densidade evidenciam uma diminuição significativa de $1,50\text{kg dm}^{-3}$ para $1,41\text{kg dm}^{-3}$ na densidade do substrato após a sua escarificação, em outubro de 2004 (Figura 4). Na área do cerrado desmatado, a densidade média medida foi de $1,04\text{kg dm}^{-3}$. Leite et al. (1994) encontraram valores de densidade de $1,60\text{kg dm}^{-3}$ e $1,40\text{kg dm}^{-3}$ para o substrato de uma cascalheira antes e após a escarificação, respectivamente.

Não houve diferença significativa entre a capacidade de campo do substrato antes ($0,37\text{m}^3\text{ m}^{-3}$) e após a sua escarificação ($0,34\text{m}^3\text{ m}^{-3}$). Contudo, a porosidade foi menor no substrato sem escarificação ($0,43\text{m}^3\text{ m}^{-3}$) em relação ao escarificado ($0,47\text{m}^3\text{ m}^{-3}$) (Figura 4). A capacidade de campo e a porosidade no solo do cerrado desmatado foram, respectivamente, $0,43\text{m}^3\text{ m}^{-3}$ e $0,61\text{m}^3\text{ m}^{-3}$.

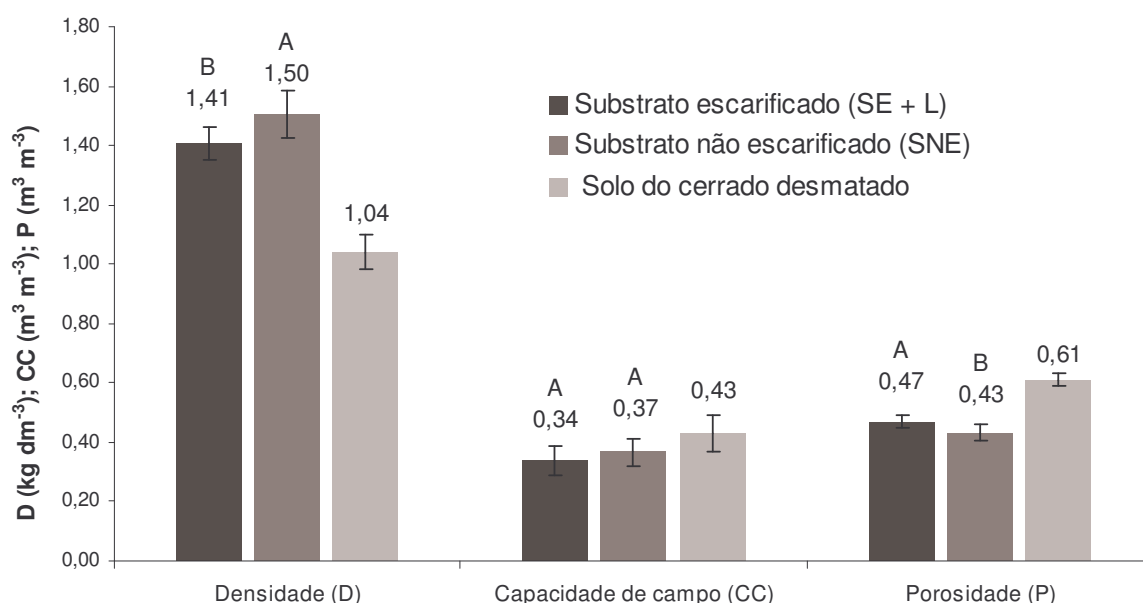


Figura 4. Densidade, capacidade de campo e porosidade do substrato escarificado e sem escarificação da cascalheira, e do solo do cerrado desmatado, em outubro de 2003.

Para cada atributo, médias seguidas da mesma letra são estatisticamente iguais pelo Teste de Tukey (5%).

Em relação à permeabilidade do substrato da cascalheira, os valores médios das taxas de infiltração medidas no substrato não escarificado foram de $0,33\text{cm h}^{-1}$ em março de 2004 e $0,25\text{cm h}^{-1}$ em dezembro de 2004. Valores, portanto, muito próximos de zero, evidenciando a baixíssima capacidade do substrato minerado em infiltrar água e sua grande suscetibilidade à erosão. A escarificação da camada de 0 a 50cm do substrato proporcionou uma elevação na taxa

de infiltração após 135 minutos de teste, atingindo $119,3\text{cm h}^{-1}$ em dezembro, quando em março era de $88,5\text{cm h}^{-1}$, valores muito semelhantes ao encontrado no cerrado nativo ($122,0\text{cm h}^{-1}$) e maiores que o medido no cerrado desmatado ($21,3\text{cm h}^{-1}$) (Figura 5). Segundo Resck (1981), as taxas de infiltração para latossolos variam de 17 a 22cm h^{-1} . Corrêa e Leite (1997) encontraram valores médios de taxa de infiltração de $68,8\text{cm h}^{-1}$, $17,8\text{cm h}^{-1}$ e $38,5\text{cm h}^{-1}$ em uma área minerada e outras duas desmatadas no cerrado do Parque Nacional de Brasília, respectivamente.

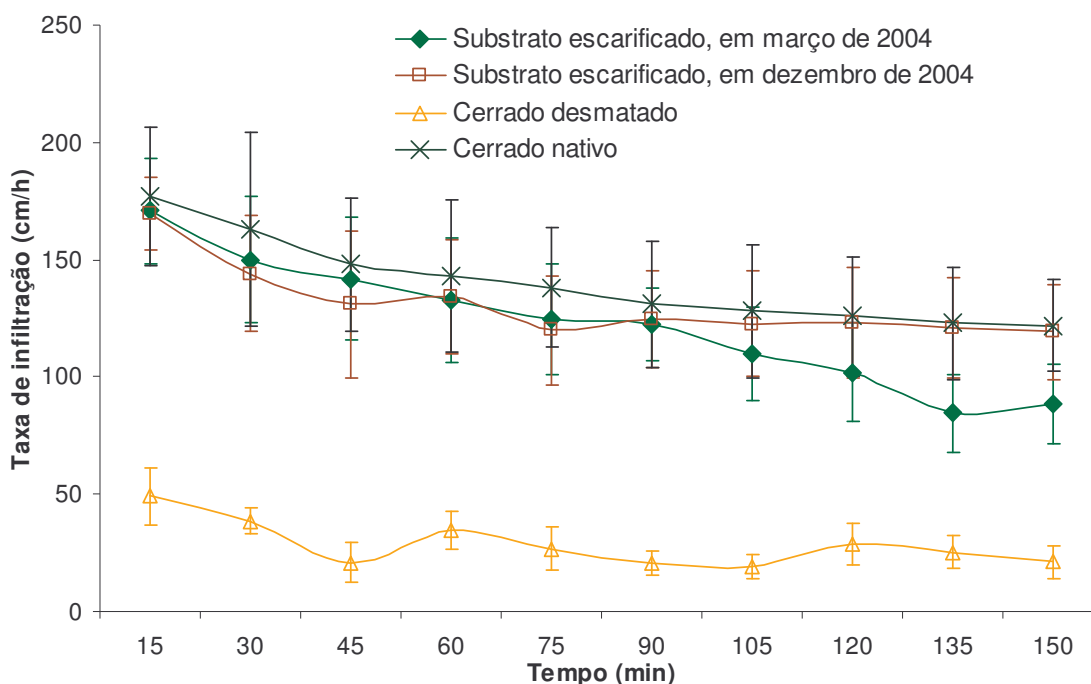


Figura 5. Taxa de infiltração média de água do substrato da cascalheira após a escarificação, em março e em dezembro de 2004, e do cerrado desmatado e nativo adjacentes à área do experimento.

Na figura 6 são apresentados os valores médios da infiltração de água acumulada em 2,5 horas nos solos do cerrado desmatado ($71,40\text{cm } 2,5\text{h}^{-1}$) e nativo ($349,75\text{cm } 2,5\text{h}^{-1}$) em comparação com o substrato com e sem escarificação em março e em dezembro de 2004. A quantidade de água infiltrada no substrato da cascalheira sem escarificação foi extremamente baixo, tanto na primeira ($1,68\text{cm } 2,5\text{h}^{-1}$) quanto na segunda ($1,34\text{cm } 2,5\text{h}^{-1}$) medição. Com a escarificação, o valor de infiltração acumulada medido foi de $306,96\text{cm } 2,5\text{h}^{-1}$ em março de 2004. Em dezembro do mesmo ano, nove meses após a primeira medição, os valores de infiltração acumulada para o substrato escarificado continuaram muito semelhantes aos anteriores ($327,42\text{cm } 2,5\text{h}^{-1}$) e muito próximos aos do cerrado nativo. O solo do cerrado desmatado apresentou uma infiltração média acumulada de $71,40\text{cm } 2,5\text{h}^{-1}$, valor bastante inferior aos encontrados no substrato escarificado e no cerrado nativo (Figura 6). Estes resultados diferem dos encontrados por Leite et al. (1994) em área de cascalheira no Parque Nacional de Brasília. A descompactação realizada por Leite et al. (1994) no substrato da cascalheira elevou em 4 vezes a infiltração acumulada (atingindo $31,8\text{cm } 2,5\text{h}^{-1}$) em relação ao valor medido antes da descompactação. Mas esse valor ainda foi inferior aos registrados nas áreas adjacentes de

cerrado e Campo Sujo. Os valores medidos no presente trabalho mostram uma infiltração 180 vezes maior no substrato minerado após os trabalhos de escarificação, demonstrando que a capacidade de infiltração de substratos minerados após a descompactação vai depender, além das características do próprio substrato, do tipo de manejo e do equipamento utilizados no processo de recuperação. Neste trabalho, o equipamento utilizado foi um trator de esteira com hastes subsoladoras espaçadas 50cm uma da outra, operando numa profundidade de cerca de 50cm, e em escarificação cruzada perpendicular.

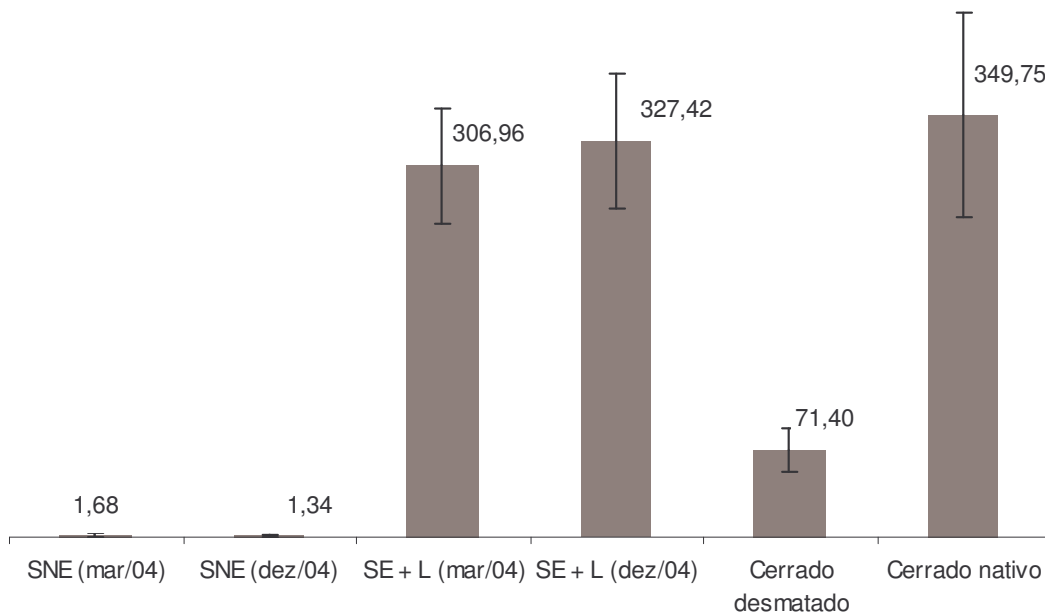


Figura 6. Infiltração de água acumulada em 2,5h (cm) no substrato sem e com escarificação, em março e em dezembro de 2004, e do cerrado desmatado e nativo.

Médias de 6 repetições para o substrato da cascalheira e 3 repetições para as áreas do cerrado nativo e desmatado.

A implantação do *Stylosanthes* spp sobre o substrato contribuiu para a manutenção da permeabilidade nas áreas escarificadas. As raízes da leguminosa certamente atuaram, ao menos, mantendo a permeabilidade, e a parte aérea impediu nova compactação da camada escarificada pela ação das chuvas, treze meses após a operação de escarificação.

Atributos químicos

Nas tabelas 3, 4 e 5 são apresentados os valores encontrados nas análises químicas do substrato minerado não escarificado (SNE) e após a escarificação, adubação e plantio do *Stylosanthes* spp (SE + L), do solo do cerrado desmatado (CD) e do solo do cerrado nativo (CN) adjacente ao experimento, além dos valores encontrados nas covas de plantio, em dois momentos distintos.

Tabela 3. Características químicas do substrato da cascalheira, em fevereiro de 2004 e em abril de 2005, nas camadas de 0 a 20cm e 20 a 40cm, no Paranoá - DF. Médias de duas repetições.

Fevereiro de 2004											
Amostra	pH	MO	Al	H+Al	Ca	Mg	P	K	Na	CTC	V
	Água	%	%	-----	cmolc dm ⁻³	-----	mg dm ⁻³	-----	cmolc dm ⁻³	-----	%
SNE (0 a 20cm)	5,50	1,11	0,0	2,55	1,20	0,55	1,00	0,07	0,02	4,39	41,50
SE + L (0 a 20cm)	7,10	1,47	0,0	2,15	4,85	0,65	4,75	0,14	0,03	7,81	72,50
SNE (20 a 40 cm)	5,85	1,04	0,0	2,30	1,80	0,25	0,75	0,23	0,04	4,61	50,50
SE + L (20 a 40 cm)	6,30	1,08	0,0	2,10	2,80	0,60	1,50	0,08	0,02	5,60	62,50

Abril de 2005											
Amostra	pH	MO	Al	H+Al	Ca	Mg	P	K	Na	CTC	V
	Água	%	%	-----	cmolc dm ⁻³	-----	mg dm ⁻³	-----	cmolc dm ⁻³	-----	%
SNE (0 a 20cm)	5,35	0,66	0,0	2,28	0,10	0,35	1,00	0,05	0,01	3,01	17,00
SE + L (0 a 20cm)	7,20	1,27	0,0	2,10	3,55	0,50	35,90	0,09	0,07	6,31	63,00
SNE (20 a 40 cm)	5,45	0,62	0,0	2,30	0,10	0,30	1,00	0,32	0,19	3,21	27,50
SE + L (20 a 40 cm)	6,10	0,81	0,0	2,40	0,15	0,35	3,90	0,37	0,11	3,38	28,50

Legenda: Substrato não escarificado nem adubado dos tratamentos 1 e 2 (**SNE**); substrato escarificado, calcariado, adubado e com camada de *Stylosanthes* spp dos tratamentos 3 e 4 (**SE + L**).

A partir da análise da tabela 3, verifica-se que dois meses após a fertilização do substrato e plantio do *Stylosanthes* spp, na camada de 0 a 20cm, o manejo adotado nos tratamentos 3 e 4 (SE + L) proporcionou um incremento nos teores de matéria orgânica (MO), Ca, P e K em relação ao substrato original da cascalheira (SNE). O pH medido no SNE foi de 5,50 (acidez média) em comparação com 7,10 (alcalinidade fraca) no SE. A capacidade de troca de cátions (CTC) e a saturação de bases (V) foram respectivamente 4,39cmolc dm⁻³ e 41,50% em SNE e de 7,81cmolc dm⁻³ e 72,50% em SE + L. Apesar do pequeno incremento em relação ao valor encontrado no substrato não escarificado, os teores de matéria orgânica continuaram baixos (1,47%) no substrato escarificado, mesmo com a aplicação do composto de lixo urbano (4L m⁻²).

Em abril de 2005, 14 meses após a primeira análise, os valores de CTC e V em SNE e em SE + L foram menores em relação a fevereiro de 2004, tanto na camada de 0 a 20 cm como na de 20 a 40 cm. A menor redução na saturação de bases ocorreu na camada de 0 a 20 cm dos módulos SE + L, que passou de 72,50% em fevereiro de 2004 para 63% em abril de 2005. Os teores de MO também diminuiram, mas tendeu a se manter maior na camada de 0 a 20 de SE + L (1,27%) (Tabela 3). Em função do bom desenvolvimento do *Stylosanthes* spp espera-se, no futuro, um incremento mais marcante do teor de MO nos módulos SE + L.

Conforme a tabela 4, em fevereiro de 2004, dois meses após a calagem e adubação química e orgânica, o substrato das covas de plantio apresentou um pH que variou de 6,60 nas covas do cerrado desmatado (controle) a 8,35 nas covas do tratamento 4, refletindo o maior poder de tamponamento do solo de cerrado. Os valores encontrados de CTC (12,42 a 14,05cmolc dm⁻³) e saturação de bases (83,00% a 90,00%) podem ser considerados altos, segundo Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (1999). O teor de P nas covas de plantio foi alto (128,00 a 150,00mg dm⁻³) nos quatro tratamentos do substrato da cascalheira, mas baixo (1,50mg dm⁻³) nas covas do cerrado desmatado, apesar de a adubação ter sido a mesma em todas as áreas. Esse baixo teor de P encontrado nas covas do cerrado, nesta primeira análise, pode ter

sido consequência de erro amostral ou analítico. O resultado obtido em abril corrobora esta hipótese.

Tabela 4. Características químicas do substrato das covas de plantio dos tratamentos 1, 2, 3, 4 da cascalheira e do controle na área de cerrado desmatado, um mês após calagem e adubação química e orgânica (fevereiro de 2004), e em abril de 2005, na profundidade de 0 a 40cm, no Paranoá - DF. Médias de duas repetições.

Fevereiro de 2004											
Amostra	pH	MO	Al	H+Al	Ca	Mg	P	K	Na	CTC	V
	Água	%	%	-----	cmolc dm ⁻³	-----	mg dm ⁻³	-----	cmolc dm ⁻³	-----	%
Covas do tratamento 1	7,65	3,08	0,0	1,55	10,05	0,65	143,50	0,66	0,30	13,21	88,00
Covas do tratamento 2	8,05	3,50	0,0	1,55	9,60	0,70	150,00	0,67	0,52	13,04	88,00
Covas do tratamento 3	8,30	2,92	0,0	1,40	11,10	0,55	137,50	0,67	0,33	14,05	90,00
Covas do tratamento 4	8,35	3,78	0,0	1,40	8,95	0,70	128,00	0,83	0,54	12,42	88,50
Covas do CD*	6,60	4,18	0,0	2,20	9,00	1,00	1,50	0,62	0,24	13,06	83,00
Abril de 2005											
Amostra	pH	MO	Al	H+Al	Ca	Mg	P	K	Na	CTC	V
	Água	%	%	-----	cmolc dm ⁻³	-----	mg dm ⁻³	-----	cmolc dm ⁻³	-----	%
Covas do tratamento 1	7,40	2,81	0,0	2,00	6,00	0,40	60,95	0,42	0,30	9,12	76,00
Covas do tratamento 2	7,70	2,34	0,0	2,00	9,70	0,45	61,50	0,28	0,24	12,67	83,00
Covas do tratamento 3	7,55	3,91	0,0	2,00	7,15	0,70	56,40	0,23	0,22	10,30	79,00
Covas do tratamento 4	7,65	3,61	0,0	1,95	10,05	0,55	61,50	0,23	0,19	12,97	84,50
Covas do CD*	6,60	3,06	0,0	3,00	3,40	0,90	43,90	0,31	0,04	7,65	61,00

*sem repetição

Legenda: **CD** – cerrado desmatado

A análise do substrato das covas em abril de 2005 mostra um decréscimo nos teores de P nas covas dos tratamentos da cascalheira em relação à primeira análise, como pode ser visto na tabela 4.

O composto de lixo adicionado às covas (60L cova⁻¹) elevou o teor de MO para médio a alto em todos os tratamentos, nos dois momentos analisados (Tabela 4).

As características químicas do substrato da cascalheira sem e com escarificação e adubação, em comparação com o solo do cerrado nativo e desmatado estão na tabela 5. A acidez encontrada no solo do cerrado desmatado e do cerrado nativo (pH = 4,90), em fevereiro de 2004, foi maior que o medido no substrato não escarificado (SNE), com pH igual a 5,50. Ainda nesse mesmo mês, o índice de matéria orgânica no solo do cerrado desmatado foi maior que no solo do cerrado nativo (3,13% e 2,79%, respectivamente), seguido do substrato escarificado e do não escarificado, com, respectivamente, 1,47% e 1,11% de MO, estes últimos, considerados baixos. Os valores de P no SNE (1,00mg dm⁻³) e no cerrado nativo e desmatado (respectivamente, 1,60mg dm⁻³ e 1,50mg dm⁻³ em 2004 e 1,00 e 1,00mg dm⁻³ em 2005) foram baixos em todas as análises. SE + L, por sua vez, apresentou valores de P cerca de 4 vezes maiores que no cerrado nativo em fevereiro de 2004, e quase 36 vezes superior em abril de 2005.

Um mês após a escarificação e a aplicação de fertilizantes, o substrato da cascalheira em SE + L apresentou uma saturação de bases (72,50%) bastante superior ao teor encontrado no solo do cerrado nativo (8%). O mesmo ocorreu com o pH e o teor de Ca. A porcentagem de MO em SE + L foi inferior à do cerrado nativo e à do cerrado desmatado em abril de 2005, mas era

quase o dobro em relação ao SNE. Nesta segunda análise, a saturação de bases em SE + L era 3,7 vezes maior que em SNE, e 7 vezes maior em relação ao solo do cerrado nativo (Tabela 5).

Tabela 5. Características químicas da camada de 0 a 20cm do substrato da cascalheira e do solo do cerrado nativo e desmatado, adjacentes à área do experimento, no Paranoá - DF, em fevereiro de 2004 e em abril de 2005. Médias de duas repetições.

Fevereiro de 2004											
Amostra	pH	MO	Al	H+Al	Ca	Mg	P	K	Na	CTC	V
	Água	%	%	----- cmolc dm ⁻³ -----	mg dm ⁻³	----- cmolc dm ⁻³ -----	mg dm ⁻³	----- cmolc dm ⁻³ -----	----- cmolc dm ⁻³ -----	----- cmolc dm ⁻³ -----	%
SNE	5,50	1,11	0,0	2,55	1,20	0,55	1,00	0,07	0,02	4,39	41,50
SE + L	7,10	1,47	0,0	2,15	4,85	0,65	4,75	0,14	0,03	7,81	72,50
CD*	4,90	3,13	0,6	7,20	0,30	0,20	1,50	0,22	0,01	7,93	9,00
CN*	4,90	2,79	67,0	7,20	0,30	0,20	1,60	0,12	0,01	7,83	8,00

Abril de 2005											
Amostra	pH	MO	Al	H+Al	Ca	Mg	P	K	Na	CTC	V
	Água	%	%	----- cmolc dm ⁻³ -----	mg dm ⁻³	----- cmolc dm ⁻³ -----	mg dm ⁻³	----- cmolc dm ⁻³ -----	----- cmolc dm ⁻³ -----	----- cmolc dm ⁻³ -----	%
SNE	5,35	0,66	0,0	2,28	0,10	0,35	1,00	0,05	0,01	3,01	17,00
SE + L	7,20	1,27	0,0	2,10	3,55	0,50	35,90	0,09	0,07	6,31	63,00
CD*	5,60	2,56	22,0	5,40	0,10	0,80	1,00	0,40	0,13	6,83	21,00
CN*	4,90	2,60	64,0	6,70	0,20	0,10	1,00	0,33	0,05	7,38	9,00

*sem repetição

Legenda: Substrato sem escarificação e sem adubação dos tratamentos 1 e 2 (**SNE**); substrato escarificado, adubado e plantado com *Stylosanthes* spp dos tratamentos 3 e 4 (**SE + L**); cerrado nativo (**CN**); cerrado desmatado (**CD**).

Martins et al. (2001) e Corrêa e Leite (1997) realizaram trabalhos em áreas mineradas e abandonadas por mais de 30 anos no Parque Nacional de Brasília. Os teores de nutrientes encontrados por eles confirmam a baixa fertilidade desses substratos. Os teores de MO e P medidos nas áreas estudadas por esses autores foi muito semelhante aos registrados neste trabalho.

A calagem e a adubação química realizada nas áreas escarificadas foi suficiente para promover uma elevação no pH e nos níveis de nutrientes da camada de 0 a 20 centímetros do substrato minerado (Tabela 5). A quantidade de composto de lixo urbano aplicado (4L m⁻²) não foi suficiente para elevar satisfatoriamente os baixos teores de matéria orgânica na camada de 0 a 20cm (Tabela 5). Devido à forma como os insumos foram incorporados, manualmente, com enxada, a calagem e a adubação, até o momento avaliado, pouco haviam contribuído para o aumento da fertilidade na camada de 20 a 40cm do substrato escarificado (Tabela 3).

Os insumos aplicados às covas de plantio foram suficientes para aumentar a fertilidade do substrato naquele ambiente. Ali, a saturação de bases e a MO passaram de níveis baixos a níveis altos, e a calagem elevou o pH, deixando o substrato com alcalinidade fraca a elevada (Tabela 4).

Diversos trabalhos têm demonstrado que a influência da adubação no crescimento de espécies arbóreas em áreas degradadas pela mineração é variável de espécie para espécie (Pinheiro et al., 2005; Corrêa et al., 2004b; Pinheiro e Corrêa, 2004), podendo ser positiva ou negativa dependendo das características genéticas de cada planta e de suas exigências

nutricionais. A principal limitação química desses substratos parece ser os baixos teores de MO. Os demais atributos químicos da camada de 0 a 20cm do substrato da cascalheira em estudo foram semelhantes aos teores no solo do cerrado nativo adjacente. Como as árvores nativas do cerrado são adaptadas a solos com baixa fertilidade natural, torna-se necessário avaliar caso a caso, e com bastante critério, a necessidade de adubação das covas de plantio e até mesmo de toda a camada minerada. Felfili e Santos (2002) afirmam que a adubação favorece o desenvolvimento de algumas espécies, mas não é uma prática essencial, pois as plantas do cerrado são adaptadas ao solo pobre.

As exigências nutricionais das espécies nativas têm se mostrado bastante diferenciadas. Braga et al. (1994), em experimento com nutriente faltante, em solo de baixa fertilidade, concluíram que a quaresmeira (*Tibouchina granulosa*) mostrou o mais alto requerimento nutricional respondendo à adubação com todos os macronutrientes e micronutrientes, enquanto a *Acacia mangium* respondeu apenas ao P, N e S, e a resposta da pereira (*Platicyamus regnellii*) foi mais evidente ao N, P, Ca e S.

Renó et al. (1993), também por intermédio da técnica da omissão de nutrientes concluíram: para o crescimento em altura do cedro (*Cedrela fissillis*), do jacaré (*Piptadenia gonoacantha*), do pau-ferro (*Caesalpineia ferrea*) e da canafístula (*Senna multijuga*), o P, S e N foram altamente limitantes. Contudo, o comportamento para o Ca, Mg e micronutrientes foi diferenciado. Os micronutrientes mostraram-se limitantes ao crescimento da canafístula e do pau-ferro, enquanto que o K não se mostrou limitante a nenhuma delas, evidenciando-se um baixo requerimento para este nutriente.

Atributos biológicos

Na tabela 6 estão os valores médios de carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal (RB), carbono orgânico (Corg) e nitrogênio total (NT), além da relação Corg:NT, CBM:Corg e do quociente de CO₂ (qCO_2) na camada de 0 a 10 cm do substrato não escarificado (SNE) da cascalheira e no substrato escarificado mais estilosantes (SE + L) em comparação ao solo das áreas do cerrado nativo (CN) e cerrado desmatado (CD) adjacentes, em maio de 2004 e junho de 2005. Os mesmos parâmetros foram medidos nas covas de *I. marginata* e *S. oleraceae* e encontram-se na tabela 7.

O CBM no cerrado nativo (314,71mg C kg⁻¹ solo), em 2004, foi superior ao SE + L (185,12mg C kg⁻¹ solo), CD (170,39mg C kg⁻¹ solo) e SNE (64,44mg C kg⁻¹ solo), e o CBM foi semelhante nestas três últimas áreas. Em 2005, o CBM no CN foi estatisticamente superior ao SE + L e ao SNE, mas igual ao CD. Na primeira avaliação, a biomassa microbiana no substrato minerado sem escarificação tinha cerca de 20% da biomassa no solo sob cerrado nativo e 38% da biomassa no solo do cerrado desmatado. Treze meses após a primeira avaliação e dezoito meses após o início da implantação do experimento, a biomassa no SNE ainda era 57% inferior em comparação ao solo do CN. Já o substrato plantado com estilosantes (SE + L), para o qual se esperava um maior incremento na biomassa microbiana, não revelou esse aumento nas análises

realizadas em junho de 2005. Ao contrário do esperado, seu valor decresceu cerca de 37% em relação às primeiras análises, apresentando valor estatisticamente igual ao SNE (Tabela 6). Provavelmente, devido à alta degradabilidade do estímulos, com uma baixa relação C/N, houve um estímulo da atividade microbiana, como mostram os dados de respiração basal, o que levou a uma diminuição da reserva potencial de nutrientes, representado pelo CBM. Esta diminuição também pode ser explicada pelo qCO_2 – ver abaixo. Dado o grande desenvolvimento observado no *Stylosanthes* spp, espera-se que o CBM aumente com o tempo.

Tabela 6. Atributos biológicos do solo do cerrado e do substrato da cascalheira, na camada de 0 a 10cm, em maio de 2004 e junho de 2005. Médias de 3 repetições.

	CN	CD	SE + L	SNE
Maio de 2004				
Corg (g Kg ⁻¹)	30,89 A	26,46 A	2,12 B	5,19 B
NT (g Kg ⁻¹)	1,90 A	1,79 A	1,07 AB	0,67 B
CBM (mg C kg ⁻¹ de solo)	314,71 A	170,39 B	185,12 B	64,44 B
RB (mg C-CO ₂ kg ⁻¹ de solo dia ⁻¹)	14,20 A	11,98 AB	14,19 A	7,36 B
Corg:NT	18,66 A	14,78 AB	2,52 C	7,54 BC
CBM:Corg (%)	1,07 B	0,65 B	7,12 A	1,44 B
qCO₂ (mg C-CO ₂ /mg CBM dia ⁻¹)	0,04 B	0,07 AB	0,11 AB	0,12 A
Junho de 2005				
Corg (g Kg ⁻¹)	29,68 A	31,37 A	24,66 B	16,83 C
NT (g Kg ⁻¹)	1,80 A	1,95 A	0,81 B	0,65 B
CBM (mg C kg ⁻¹ de solo)	246,55 A	188,75 AB	117,31 B	107,60 B
RB (mg C-CO ₂ kg ⁻¹ de solo dia ⁻¹)	15,87 B	13,66 B	34,23 A	6,00 C
Corg:NT	16,50 B	16,09 B	28,64 A	27,75 A
CBM:Corg (%)	0,82 A	0,61 AB	0,34 B	0,64 AB
qCO₂ (mg C-CO ₂ /mg CBM dia ⁻¹)	0,07 B	0,08 B	0,38 A	0,06 B

Para cada atributo e época, médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Legenda: Carbono da biomassa microbiana (**CBM**); respiração basal (**RB**); carbono orgânico (**Corg**); nitrogênio total (**NT**); quociente CO₂ (**qCO₂**); substrato não escarificado (**SNE**); substrato escarificado mais *Stylosanthes* spp (**SE + L**); cerrado nativo (**CN**); cerrado desmatado (**CD**).

Com relação à RB, os valores medidos em 2004 indicavam maior evolução de CO₂ no CN e no SE + L em relação ao SNE (7,36mg C-CO₂ kg⁻¹ de solo dia⁻¹). Em 2005, a RB no SE + L (34,23mg C-CO₂ kg⁻¹ de solo dia⁻¹) alcançou valores bastante elevados em relação às demais áreas. CD (13,66mg C-CO₂ kg⁻¹ de solo dia⁻¹) e CN (15,87mg C-CO₂ kg⁻¹ de solo dia⁻¹) foram semelhantes e o SNE apresentou a menor atividade biológica (6,00mg C-CO₂ kg⁻¹ de solo dia⁻¹), refletindo a ativação da biomassa microbiana provocada pela escarificação, correção e adição do composto de lixo ao substrato.

A relação entre a biomassa (CBM) e sua atividade (RB) fornece uma medida de atividade metabólica específica, o qCO_2 . Valores mais elevados de qCO_2 evidenciam uma maior perturbação ou estresse da população microbiana (Islam e Weil, 2000a). O quociente metabólico tem suporte na teoria de Odum (1983) sobre a estratégia de desenvolvimento do ecossistema, segundo a qual a relação RB:CBM diminui com o tempo ou com a sucessão do ecossistema. O CN apresentou, em 2004, qCO_2 igual a 0,04mg C-CO₂/mg CBM dia⁻¹, valor inferior ao do SNE

(0,12mg C-CO₂/mg CBM dia⁻¹), mas estatisticamente igual ao CD (0,07mg C-CO₂/mg CBM dia⁻¹) e ao SE + L (0,11mg C-CO₂/mg CBM dia⁻¹). Em 2005, devido à diminuição do CBM e à elevada RB medida, o quociente metabólico (*q*CO₂) no SE + L foi aproximadamente 5 vezes maior em relação a todas as outras áreas, o que evidencia que neste trabalho houve maior atividade metabólica e menor incorporação de carbono na microbiota do solo (Tabela 6).

O Corg foi maior em CN (30,89g Kg⁻¹) e em CD (26,46g Kg⁻¹) e menor em SNE (5,19g Kg⁻¹) e SE + L (2,12g Kg⁻¹), na primeira avaliação (maio de 2004). Nessa mesma época, o NT apresentou o menor valor em SNE (0,67g Kg⁻¹). A relação Corg:NT, por sua vez, foi menor em SE + L (2,52) e SNE (7,54) e maior no cerrado nativo (18,66). Na segunda avaliação (junho de 2005), apesar de CN e CD ainda terem apresentado teores de Corg maiores que SE + L e SNE, os valores medidos nessas duas últimas foram mais elevados, em relação a maio de 2004. Conseqüentemente, em junho de 2005, a relação Corg:NT em SE + L e SNE foi superior à do cerrado nativo e desmatado. SE + L apresentou a maior relação CBM:Corg, em maio de 2004, mas foi menor que o CN e semelhante a CD e SNE, em junho de 2005 (Tabela 6).

Observando a tabela 7, na primeira avaliação, cinco meses após o plantio das mudas arbóreas e do estilosantes, e sete após a escarificação do substrato, o Corg e o CBM nas covas abertas em substrato escarificado eram cerca de 30% maiores que nas covas em substrato não escarificado. Portanto, a escarificação do substrato minerado parece ter provocado um incremento momentâneo no Corg e no CBM das covas de plantio, em relação às covas abertas em substrato não escarificado. Já na segunda avaliação, não houve diferenças no Corg e no CBM entre as áreas com escarificação e sem escarificação.

O cavaco de madeira aplicado como cobertura morta provocou um aumento no teor de carbono orgânico na camada de 0 a 10 cm do substrato das covas de plantio. Dezoito meses após o plantio das mudas e colocação do cavaco de madeira, o teor de Corg nas covas sem cobertura morta era aproximadamente 40% inferior ao teor nas covas com cobertura morta (Tabela 7). Em junho de 2005, a respiração basal (RB) medida nas covas com cobertura morta (41,54mg C-CO₂ kg⁻¹ de solo dia⁻¹) era superior à das covas sem cobertura (23,01mg C-CO₂ kg⁻¹ de solo dia⁻¹).

Os efeitos da escarificação do substrato, da cobertura com cavaco de madeira e da espécie plantada (*I. marginata* e *S. oleraceae*) na microbiota do substrato das covas pode ser analisada pelos valores de *q*CO₂, o único parâmetro que, na segunda avaliação (junho de 2005), mostrou diferenças significativas em todas as variáveis. A aplicação de cobertura morta nas covas, assim como a não escarificação do substrato provocaram aumento na atividade microbiana, significando maior quantidade de C-CO₂ evoluído por unidade de C da biomassa. A média do *q*CO₂ nas covas da cascalheira plantadas com *I. marginata* (0,17mg C-CO₂/mg CBM dia⁻¹) foi inferior ao das covas com *S. oleraceae* (0,23mg C-CO₂/mg CBM dia⁻¹). Esses valores foram, respectivamente, 65% e 83% maiores, se comparados aos valores de *q*CO₂ das covas de *I. marginata* e *S. oleraceae* em solo de cerrado desmatado (Tabela 7). Isso é um indicador da maior estabilidade metabólica da microbiota nas covas do cerrado.

Tabela 7. Atributos biológicos da camada de 0 a 10cm das covas de *I. marginata* e *S. oleraceae* na cascalheira e no cerrado desmatado, em Paranoá – DF, em maio de 2004 e junho de 2005. Médias de 12 repetições.

	Corg g Kg ⁻¹	NT g Kg ⁻¹	CBM mg C kg ⁻¹ solo	RB mg kg ⁻¹ solo dia ⁻¹	Corg:NT	CBM:Corg %	qCO₂ mg C-CO ₂ /mg CBM dia ⁻¹
Maio de 2004							
Sem esc	16,69 B	2,11 A	142,30 B	23,96 A	7,69 A	1,09 A	0,18 A
Com esc	23,70 A	2,65 A	200,99 A	18,58 A	9,00 A	0,93 A	0,10 B
Sem cob	19,18 A	2,41 A	166,23 A	21,86 A	8,09 A	0,92 A	0,14 A
Com cob	21,21 A	2,34 A	177,07 A	20,68 A	8,61 A	1,10 A	0,14 A
G	18,99 A	2,35 A	184,90 A	23,42 A	7,92 A	1,21 A	0,14 A
I	21,39 A	2,40 A	158,40 A	19,12 A	8,78 A	0,81 A	0,15 A
GCD*	35,44	2,66	205,60	28,11	13,48	0,59	0,14
ICD*	24,99	2,28	334,25	5,81	11,00	1,38	0,03
Junho de 2005							
Sem esc	28,33 A	2,41 A	182,77 A	32,99 A	11,62 A	0,75 A	0,23 A
Com esc	31,37 A	2,52 A	184,65 A	31,56 A	12,24 A	0,66 A	0,17 B
Sem cob	22,15 B	2,27 A	192,49 A	23,01 B	9,74 B	0,94 A	0,15 B
Com cob	37,55 A	2,67 A	174,93 A	41,54 A	14,11 A	0,47 B	0,25 A
G	30,10 A	2,51 A	165,58 A	35,44 A	11,90 A	0,59 A	0,23 A
I	29,59 A	2,42 A	201,84 A	29,11 A	11,95 A	0,82 A	0,17 B
GCD*	27,64	2,79	440,91	17,49	10,02	1,60	0,04
ICD*	27,28	2,21	228,01	13,64	12,30	0,87	0,06

* Médias de três repetições.

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%. O teste compara os efeitos de escarificação, cobertura e espécie separadamente.

Legenda: **Sem esc** – áreas sem escarificação; **Com esc** – com escarificação; **Sem cob** – sem cobertura morta; **Com cob** – com cobertura morta; **G** – covas com *S. oleraceae*; **I** – covas com *I. marginata*; **GCD** – *S. oleraceae* no cerrado desmatado; **ICD** – *I. marginata* no cerrado desmatado; **CBM** – carbono da biomassa microbiana; **RB** – respiração basal; **Corg** – carbono orgânico; **NT** – nitrogênio total; **qCO₂** – quociente CO₂.

Em maio de 2004, não houve diferença no NT, Corg:NT e CBM:Corg nas covas de *I. marginata* e *S. oleraceae* submetidas aos diferentes tratamentos. Dado o maior teor de Corg medido nas covas com cobertura morta, em junho de 2005, a relação Corg:NT foi maior nessas covas. A relação CBM:Corg, por sua vez, foi maior nas covas sem cobertura morta (Tabela 7).

Índice de qualidade do solo / substrato (IQS)

De posse dos resultados das análises dos atributos físicos, químicos e biológicos do substrato da cascalheira e do solo do cerrado, um indicador de cada atributo foi selecionado para compor um índice de qualidade do solo/substrato (IQS). A figura 7 sintetiza os efeitos dos diferentes manejos adotados sobre esses atributos de qualidade do substrato da cascalheira em dois momentos distintos: I – no início da revegetação; II – decorridos mais de um ano do início da revegetação. Os valores encontrados para o solo do cerrado nativo serviram como referência.

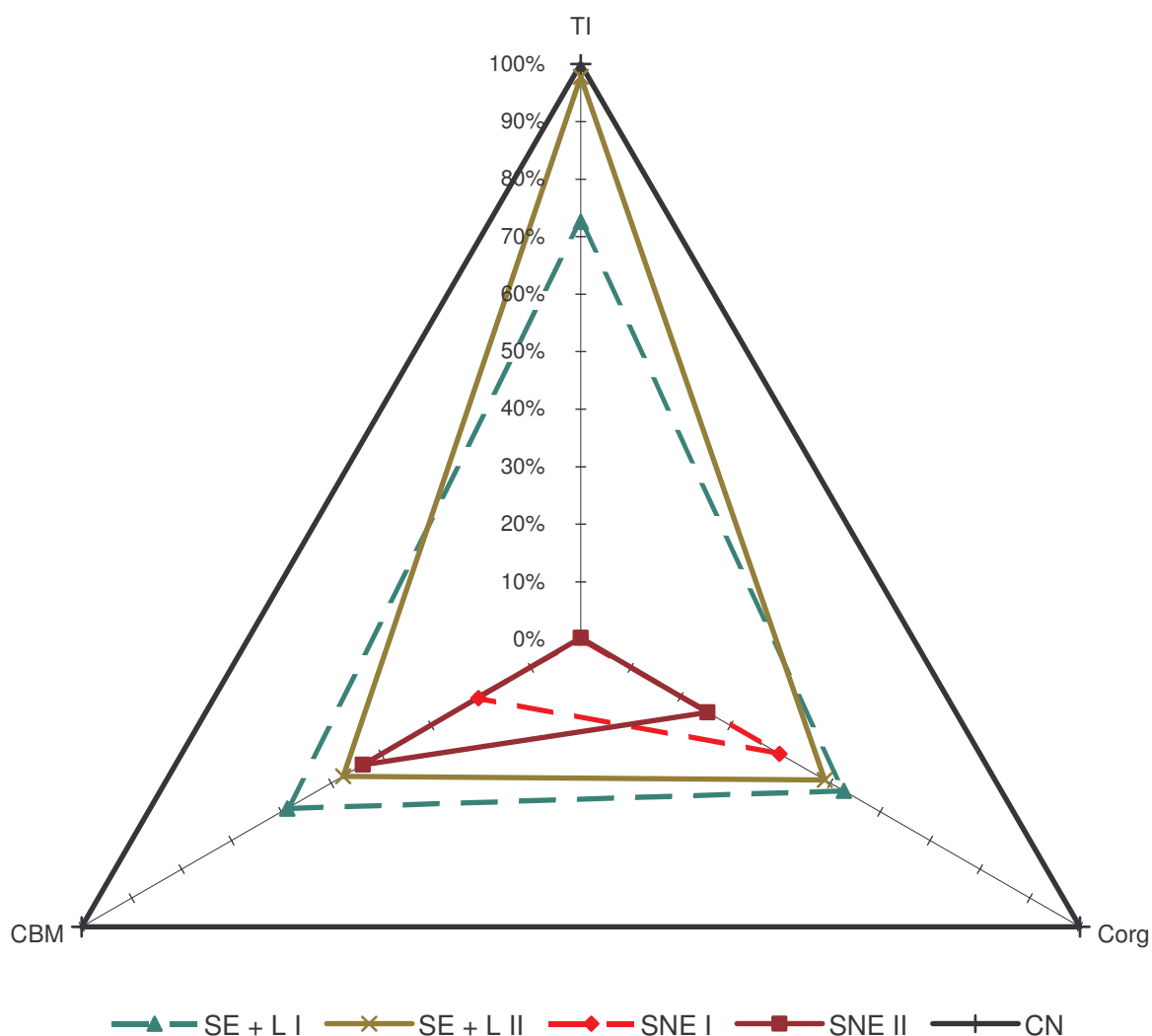


Figura 7. Diagrama da qualidade do substrato no início da revegetação (momento I) e decorridos mais de um ano do início da revegetação (momento II).

Legenda: Substrato não escarificado (**SNE I e SNE II**); substrato escarificado + estilosantes (**SE + L I e SE + L II**); solo do cerrado nativo (**CN**); taxa de infiltração (**TI**); carbono orgânico total (**Corg**); carbono da biomassa microbiana (**CBM**).

Numa primeira análise, percebe-se que o substrato não escarificado no momento I (SNE I) apresentava uma taxa de infiltração (TI) quase nula. No segundo momento da avaliação, a TI no substrato não escarificado (SNE II) continuava praticamente inalterada. Em SE + L I, nota-se que a descompactação do substrato da cascalheira seguida de adubação e plantio da leguminosa proporcionou um ganho de qualidade física quase imediato, evidenciado pela taxa de infiltração inferior em apenas 27,46% à do cerrado nativo (CN). No segundo momento, a TI no SE + L II era menos de 3% inferior à TI no solo do CN. A melhoria de qualidade do substrato em SE + L em termos de incremento em carbono orgânico total (Corg) e da biomassa microbiana (CBM) foram menos acentuadas. Em SNE I, os teores de Corg e CBM eram, respectivamente, 60% e 80% inferiores aos medidos no CN, e 25% e 48% menores que os teores no SE + L I. Em SE + L II observa-se uma pequena redução nos teores de CBM e Corg. O CBM no SNE II eleva-se consideravelmente, atingindo valor muito semelhante ao do SE + L II. Corg, ao contrário, sofre

redução mais acentuada em SE + L que em SNE no momento II, provavelmente em função da maior atividade microbiana, evidenciada pela elevada respiração basal detectada em junho de 2005 nas áreas com substrato escarificado mais *Stylosanthes* spp.

O IQS calculado para SE + L I (0,61) representa uma qualidade 3 vezes maior em relação a SNE I (IQS = 0,20), mas 38,6% inferior à qualidade do solo do cerrado (IQS = 1,00). Os valores calculados para SE + L II (IQS = 0,65) e SNE II (IQS = 0,23) demonstram que tanto SE + L quanto SNE não evoluíram em melhoria de qualidade no período de tempo observado entre o primeiro e o segundo momento. O IQS do solo da área controle no cerrado desmatado (CD) também foi calculado. Ali, o IQS no momento I foi de 0,61 e de 0,64 no momento II. Esses valores são praticamente idênticos aos calculados em SE + L I (0,61) e SE + L II (0,65), indicando que esse manejo foi suficiente para equiparar a qualidade do substrato minerado da cascalheira ao solo alterado do cerrado desmatado. Araújo (2004), em seu modelo de qualidade do solo, chegou a um valor de IQS de 0,54 para um solo sob pastagem nativa no cerrado.

O monitoramento desses atributos físicos, químicos e biológicos será capaz de indicar os efeitos dos manejos na qualidade do substrato da cascalheira, ao longo do tempo. Espera-se um incremento maior em qualidade nos módulos descompactados, com estilosantes e estrato arbóreo (SE + L). Nessas áreas, provavelmente haverá maior aporte de carbono ao substrato, em função da camada rasteira densa.

Desenvolvimento vegetativo

Estrato herbáceo

A boa germinação do *Stylosanthes* spp (Mineirão), semeado nas áreas escarificadas (SE + L) proporcionou a formação de um estrato herbáceo denso e formado, basicamente, pela leguminosa. Algumas espécies de gramíneas se estabeleceram espontaneamente em SE + L, competindo com o *Stylosanthes* spp no início de sua germinação. Contudo, as gramíneas demonstraram menor resistência à estação seca. O estilosantes, ao contrário, continuou se desenvolvendo, formando uma boa cobertura na área dos módulos escarificados (SE + L). Nos módulos onde não houve descompactação do substrato (SNE), a camada rasteira continuava sem nenhum sinal de vegetação após o primeiro período chuvoso.

O manejo das covas de plantio se restringiu apenas ao coroamento das mudas em toda a área experimental e no controle. O número de capinas foi o mesmo nas covas com e sem cobertura morta. Antes da roçagem de todo o estrato herbáceo, em março de 2005, a camada de *Stylosanthes* spp havia atingido um porte de cerca de um metro de altura em todas as áreas com substrato escarificado, revelando excelente produção de biomassa.

Em dezembro de 2005, os módulos foram avaliados quanto ao grau de cobertura vegetal. As notas atribuídas pelos avaliadores estão apresentadas na tabela 8.

Tabela 8. Avaliação do grau de cobertura da camada herbácea dos módulos sem (SNE) e com escarificação (SE + L) na área experimental da cascalheira, em dezembro de 2005.

Tratamento	Avaliador 1	Avaliador 2	Avaliador 3	Média geral	Grau de cobertura
	Notas ¹				
SNE	1,58	1,83	1,67	1,69	< 50%
SE + L	4,00	4,00	4,00	4,00	> 75%

¹ Médias de 12 módulos.

Numa escala de notas de 0 (0% de cobertura vegetal) a 4 (mais de 75% de cobertura), os módulos escarificados receberam nota igual a 4 para o grau de cobertura da camada rasteira. A nota média dos módulos sem escarificação do substrato foi de 1,69 (Tabela 8). Nesses módulos, a vegetação rasteira havia se desenvolvido, principalmente, nas proximidades das covas de plantio, há cinco meses sem capina. A ocorrência de vegetação sobre a camada de substrato não escarificado limitava-se a pequenas áreas, nas quais é possível perceber o acúmulo de material, possivelmente rico em matéria orgânica, oriundo de outras áreas com cotas mais elevadas.

Estrato arbóreo

Sobrevivência das espécies arbóreas

De 180 mudas plantadas, observou-se um total de 39 mudas mortas, 28 na área da cascalheira e 11 na área controle no cerrado desmatado. De maneira geral, a sobrevivência das espécies no cerrado foi inferior à sobrevivência na área da cascalheira em recuperação, provavelmente em função da competição promovida pela braquiária predominante na área. Isso indica que o número de capinas ou o raio do coroamento podem ter sido insuficientes. Quarenta e quatro por cento (44%) das mortes ocorreram entre junho e novembro de 2004 (primeira estação seca), e 33% entre dezembro de 2004 e abril de 2005 (segunda estação chuvosa). A cobertura morta nas covas de plantio parece ter contribuído para a redução da mortalidade. Do total de mudas mortas na área experimental da cascalheira, 16 (57%) foram de covas sem cobertura morta e 12 (43%) de covas com cobertura morta. Verifica-se uma tendência a uma maior sobrevivência das mudas plantadas nas áreas manejadas sem escarificação do substrato (SNE) (Figura 8).

A sobrevivência de *A. fraxinifolium* e *I. marginata* foi de 100% na cascalheira, seguidos por *H. courbaril* (96%), *S. oleraceae* (83%), *D. alata* (79%) e *P. ramiflora* (25%). No cerrado, apenas *A. fraxinifolium* teve 100% de sobrevivência, seguido por *I. marginata* e *H. courbaril* com 83%, *S. oleraceae* (67%), *P. ramiflora* (43%) e *D. alata* (33%). Corrêa (2004) observou, em áreas mineradas no Distrito Federal, uma sobrevivência de 81% de *A. fraxinifolium*, 92% de *I. marginata*, e 62% a 90% de *D. alata*, após 15 meses de observação (Tabela 9). O maior porte médio das mudas de *A. fraxinifolium* (96 cm na cascalheira e 120 cm no cerrado) em relação às demais espécies, explica, parcialmente, a sua maior sobrevivência. *P. ramiflora*, por sua vez,

era a muda de menor porte no momento do plantio, variando entre 17cm e 43cm de altura, o que deve ter contribuído para a sua baixa sobrevivência nas duas áreas. Essa baixa sobrevivência de *P. ramiflora* (25%) explica-se, em parte, pelo pequeno porte das mudas, resultando em baixa resistência ao período de estiagem e baixa capacidade de competição com o *Stylosanthes* spp., além do ataque de formigas, responsáveis pela morte de seis dessas mudas na cascalheira, revelando uma predileção das formigas por esta espécie.

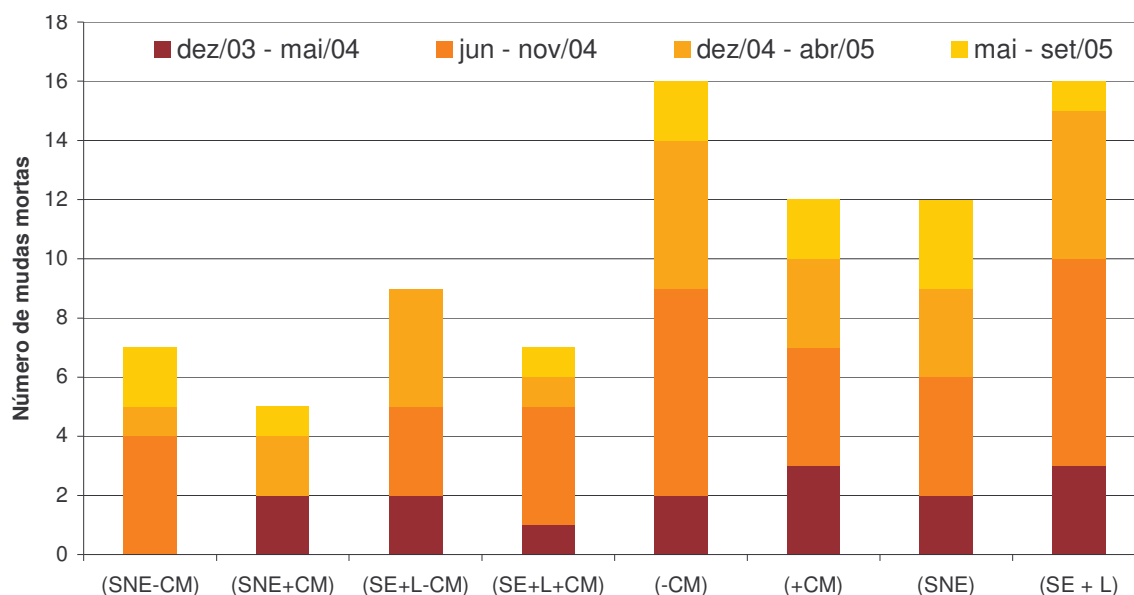


Figura 8. Mortalidade das mudas arbóreas plantadas sob os diferentes tratamentos do substrato da cascalheira na primeira e segunda estação seca e chuvosa.

Legenda: substrato não escarificado, sem cobertura morta (SNE-CM); idem anterior + cobertura morta (SNE+CM); substrato escarificado + *Stylosanthes* spp, sem cobertura morta (SE+L-CM); substrato escarificado + *Stylosanthes* spp, com cobertura morta (SE+L+CM); tratamentos sem cobertura morta (- CM); tratamentos com cobertura morta (+ CM); tratamentos sem escarificação do substrato (SNE); tratamentos com substrato escarificado + *Stylosanthes* spp (SE + L).

Tabela 9. Sobrevivência das mudas plantadas no substrato da cascalheira e no cerrado desmatado, em 21 meses de observação.

Local / espécie	Sobrevivência
	%
Cascalheira	
<i>Inga marginata</i>	100
<i>Syagrus oleraceae</i>	83
<i>Astronium fraxinifolium</i>	100
<i>Hymenaea courbaril</i>	96
<i>Dipteryx alata</i>	79
<i>Pouteria ramiflora</i>	25
Cerrado desmatado	
<i>Inga marginata</i>	83
<i>Syagrus oleraceae</i>	67
<i>Astronium fraxinifolium</i>	100
<i>Hymenaea courbaril</i>	83
<i>Dipteryx alata</i>	33
<i>Pouteria ramiflora</i>	43

Crescimento das espécies arbóreas

O incremento médio em altura e diâmetro do coleto e a porcentagem de crescimento das espécies arbóreas plantadas na área da cascalheira e no cerrado desmatado, entre dezembro de 2003 e setembro de 2005, estão apresentados na tabela 10.

Tabela 10. Incremento médio e porcentagem de crescimento em altura e em diâmetro do coleto das mudas plantadas na cascalheira e no cerrado desmatado, em 21 meses de observação.

Local / espécie	Incremento médio		Crescimento	
	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Altura (%)	Diâmetro (%)
Cascalheira				
<i>Inga marginata</i>	119,8 ± 32,4	3,5 ± 0,9	146	314
<i>Syagrus oleraceae</i>	69,6 ± 34,7	3,2 ± 2,2	75	257
<i>Astronium fraxinifolium</i>	59,0 ± 49,8	2,9 ± 1,5	62	248
<i>Hymenaea courbaril</i>	38,7 ± 28,6	1,2 ± 0,7	61	153
<i>Dipteryx alata</i>	23,7 ± 34,4	0,6 ± 0,7	44	72
<i>Pouteria ramiflora</i>	21,2 ± 15,3	0,6 ± 0,4	72	118
Cerrado desmatado				
<i>Inga marginata</i>	44,8 ± 29,0	1,5 ± 1,0	43	104
<i>Syagrus oleraceae</i>	6,0 ± 15,3	1,0 ± 1,2	22	27
<i>Astronium fraxinifolium</i>	-0,3 ± 29,5	1,9 ± 1,4	0	104
<i>Hymenaea courbaril</i>	11,4 ± 15,3	0,3 ± 0,2	20	38
<i>Dipteryx alata</i>	-3,5 ± 17,7	0,4 ± 0,1	-3	46
<i>Pouteria ramiflora</i>	5,7 ± 17,2	0,4 ± 0,3	28	77

Em 21 meses de desenvolvimento após o plantio, considerando o crescimento médio das mudas nos quatro tratamentos da área da cascalheira, *Inga marginata* apresentou crescimento rápido, característico de espécies pioneiras, com 119,8cm de incremento em altura, sobressaindo-se sobre as outras espécies (Tabela 10). *Syagrus oleraceae*, *Astronium fraxinifolium* e *Hymenaea courbaril* tiveram um crescimento médio, com, respectivamente, 69,6cm, 58,9cm e 38,7cm de incremento em altura. *Dipteryx alata* (23,7cm) e *Pouteria ramiflora* (21,2cm) apresentaram os menores incrementos em altura. O incremento médio em diâmetro do coleto foi de 3,5cm para *I. marginata*, 3,2cm para *S. oleraceae*, e 2,9cm para *A. fraxinifolium*. As espécies *H. courbaril*, *P. ramiflora* e *D. alata* tiveram um incremento em diâmetro mais modesto, de, respectivamente, 1,2cm, 0,6cm e 0,6cm (Tabela 10). No período de 21 meses, as mudas de *I. marginata* da cascalheira tiveram 146% de crescimento em altura, valor inferior aos 192% de crescimento observados por Corrêa (2004) para a mesma espécie, em área minerada no Distrito Federal, após um período de 15 meses. Esse mesmo autor verificou um crescimento de 0,5% do *A. fraxinifolium*, inferior ao observado neste trabalho (62%); e 72% a 135% de crescimento do *D. alata*, superior ao observado aqui (44%).

Além dos fatores genéticos inerentes a cada espécie, um fator que pode ter contribuído para o desenvolvimento inicial mais lento de *H. courbaril*, *P. ramiflora* e *D. alata*, foi o porte reduzido das mudas no momento do plantio.

Nota-se um desenvolvimento menor das mudas plantadas na área do cerrado desmatado em relação às plantadas na área da cascalheira (Tabela 10). No cerrado, há uma tendência a um maior desenvolvimento de *I. marginata*, com um crescimento médio de 44,8cm em altura e 1,50cm em diâmetro do coleto e uma sobrevivência de 83%. Esse desenvolvimento ficou muito aquém do observado para essa mesma espécie na cascalheira. A presença da braquiária (*B. decumbens*) na área do cerrado desmatado, além de ter diminuído a sobrevivência das mudas, certamente influenciou no desenvolvimento delas, competindo por água, luz e nutrientes.

As curvas de crescimento em altura e diâmetro do coleto de cada espécie plantada na área da cascalheira, considerando a média de todos os tratamentos, no período observado, são apresentadas na figura 9.

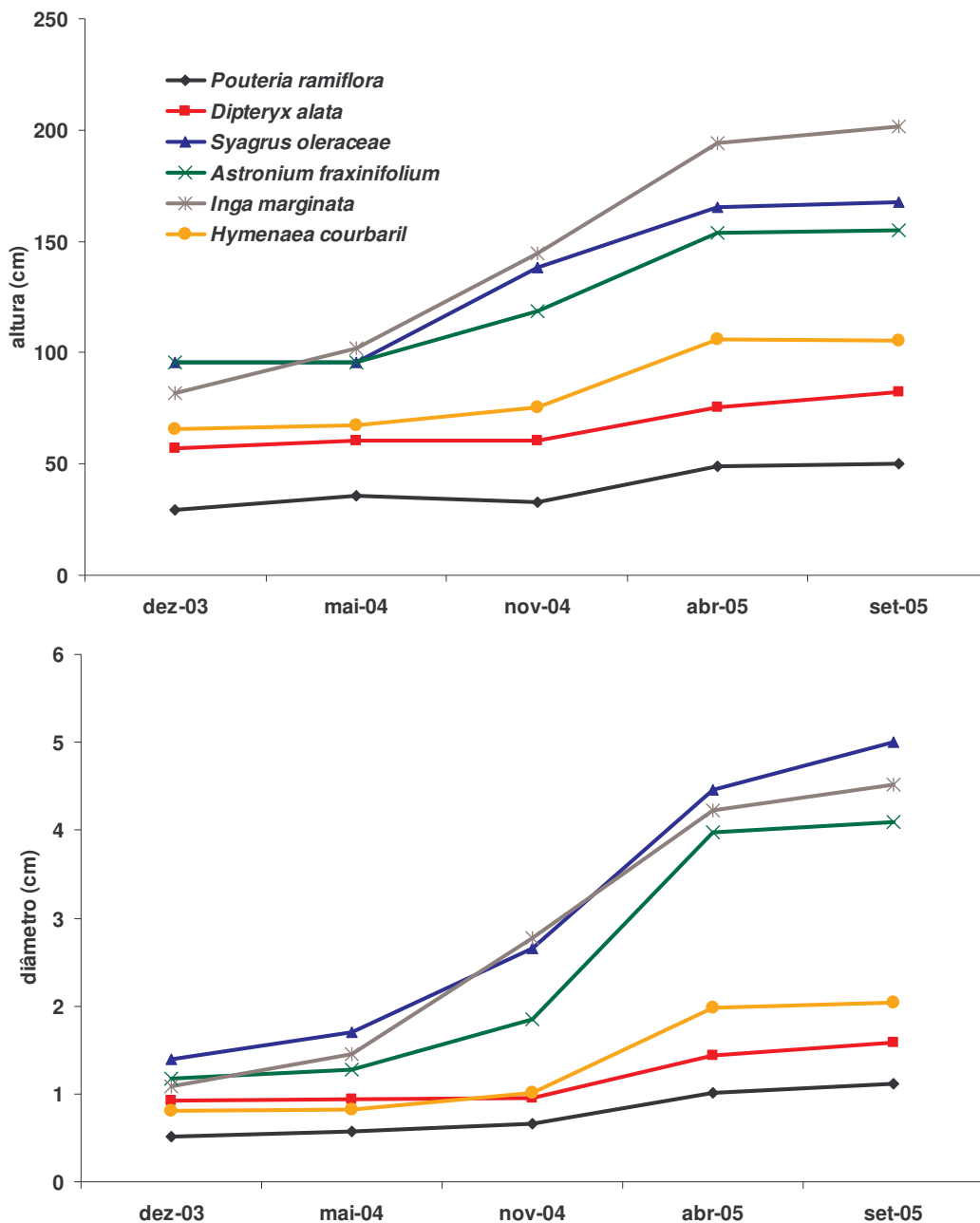


Figura 9. Curvas de crescimento médio em altura e diâmetro do coleto das espécies plantadas na área da cascalheira, considerando todos os tratamentos.

Os maiores incrementos, tanto em altura quanto em diâmetro, ocorreram entre a primeira estação seca e a segunda estação chuvosa, para a maioria das espécies estudadas. *S. oleraceae* e *I. marginata* tiveram um incremento em altura de, respectivamente, 44% e 42% entre maio e novembro de 2004, e 20% e 34% entre novembro de 2004 e abril de 2005. *I. marginata*, *A. fraxinifolium* e *S. oleraceae*, nessa ordem, foram as espécies que mais se destacaram no incremento em diâmetro na primeira estação seca após o plantio. Na segunda estação chuvosa, *A. fraxinifolium*, *H. courbaril* e *S. oleraceae* foram as espécies que se destacaram em termos de crescimento em diâmetro (Figura 9).

Em vinte e um meses de observação e tomando como base o incremento em altura e diâmetro do coleto, a análise de variância não identificou interação significativa entre o crescimento das espécies arbóreas e os diferentes manejos do substrato e da cobertura morta na cova de plantio. A cobertura morta, isoladamente, não afetou o crescimento das plantas. Contudo, houve influência do manejo do substrato no desenvolvimento das mudas, independentemente da espécie (Tabela 11).

Tabela 11. Incremento médio em altura e diâmetro do coleto das mudas em SNE e em SE + L, após 21 meses do plantio.

	Altura (cm)*	Diâmetro (mm)**
Substrato não escarificado (SNE)	68,75 A	25,1 A
Substrato escarificado + estilosantes (SE + L)	53,14 B	20,9 B
Coeficiente de variação	55,78 %	56,01 %
Coeficiente de determinação (R ²)	61%	56%
Diferença mínima significativa	12,6	3,9

* e ** Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% e a 10%, respectivamente.

As mudas plantadas em substrato não escarificado (SNE) tiveram um maior incremento em altura e diâmetro que aquelas plantadas em substrato escarificado com *Stylosanthes* spp (SE + L). A diferença foi de 15,6cm a mais em altura e 4,2mm a mais em diâmetro para as espécies plantadas em SNE. Apesar do incremento na qualidade do substrato das áreas escarificadas, fica evidente a influência competitiva da camada rasteira densa formada pelo *Stylosanthes* spp. sobre o desenvolvimento das espécies arbóreas.

Embora estatisticamente não tenha havido interação significativa entre espécies arbóreas e manejo do substrato, é possível perceber tendências diferenciadas de comportamento nos dois manejos. O desenvolvimento individual de cada espécie em SNE, em SE + L e no cerrado desmatado foi avaliado pelo incremento total em altura e em diâmetro, no período de 21 meses após o plantio (Figura 10).

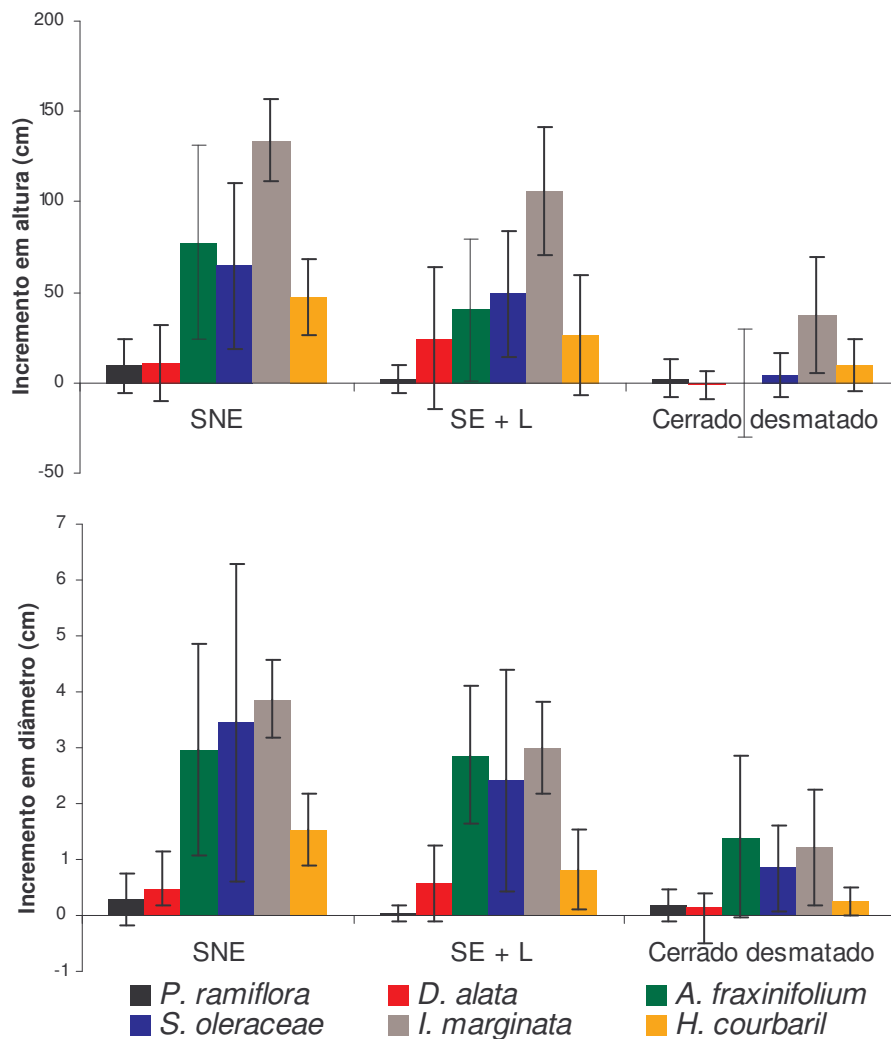


Figura 10. Incremento médio em altura e diâmetro das espécies arbóreas em substrato não escarificado (SNE) e escarificado + estilosantes (SE+L), e em área controle no cerrado desmatado, 21 meses após plantio em dezembro de 2003.

Todas as espécies plantadas em SE + L, com exceção de *D. alata*, tiveram crescimento menor, tanto em altura quanto em diâmetro, em comparação às mesmas espécies plantadas em SNE. O incremento médio em altura e diâmetro em SNE foi, respectivamente, 4,3 e 5,6 vezes maior em relação às áreas SE + L, para *P. ramiflora*; 1,9 e 1,0 vez maior, no caso de *A. fraxinifolium*; 1,8 e 1,9 vez maior, para *H. courbaril*; 1,3 e 1,4 vez maior, para *S. oleraceae*; e 1,3 e 1,3 vez maior, para *I. marginata*. *D. alata*, ao contrário, teve um desenvolvimento 2,3 vezes maior em altura e 1,3 vez maior em diâmetro em SE + L em relação a SNE (Figura 10).

I. marginata, em SNE, destaca-se com um incremento total de 170% em altura e 357% em diâmetro do coleto. Os menores incrementos em altura foram observados em *D. alata* em SNE (22%), *P. ramiflora* em SE + L (32%) e *A. fraxinifolium* em SE + L (39%).

Além da altura da muda no momento do plantio, aspectos ecológicos e exigências nutricionais influenciam no desenvolvimento das mudas das espécies testadas. Resende et al. (1999) verificaram que, na fase inicial de crescimento, a responsividade ao fornecimento de P é distinta, de acordo com os grupos sucessionais e com as espécies. Segundo Resende et al.

(1999), espécies pioneiras respondem positivamente ao fornecimento de P, enquanto as clímax são pouco afetadas por ele. Todas as espécies estudadas neste trabalho são classificadas como heliófitas por Lorenzi (1998 e 1992). A competição por luz parece ter prejudicado o crescimento de *P. ramiflora*, *H. courbaril*, *S. oleraceae*, *I. marginata* e *A. fraxinifolium*. *D. alata*, espécie secundária, foi a única a não sofrer com essa competição. *H. courbaril* é classificado como clímax exigente em luz por Davide et al. (1995). Seu crescimento modesto e aparentemente menor em SE + L é compatível com as observações de Carvalho (1994) e com os resultados de Kageyama (1992).

O efeito da escarificação e do *Stylosanthes* spp sobre o desenvolvimento de cada uma das espécies, durante o período de estudo, pode ser mais bem visualizado pelas suas curvas de crescimento (Figuras 11 a 16).

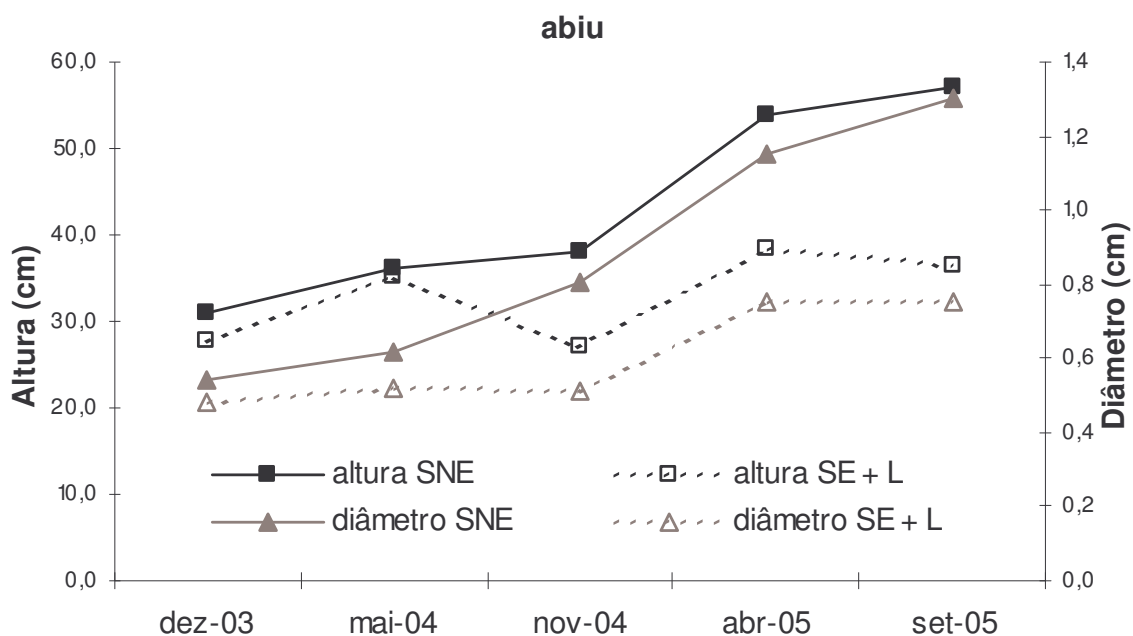


Figura 11. Curvas de crescimento em altura e diâmetro do coleto do abiu (*Pouteria ramiflora*) em substrato não escarificado (SNE) e em substrato escarificado + *Stylosanthes* spp (SE + L), no período de 21 meses após o plantio.

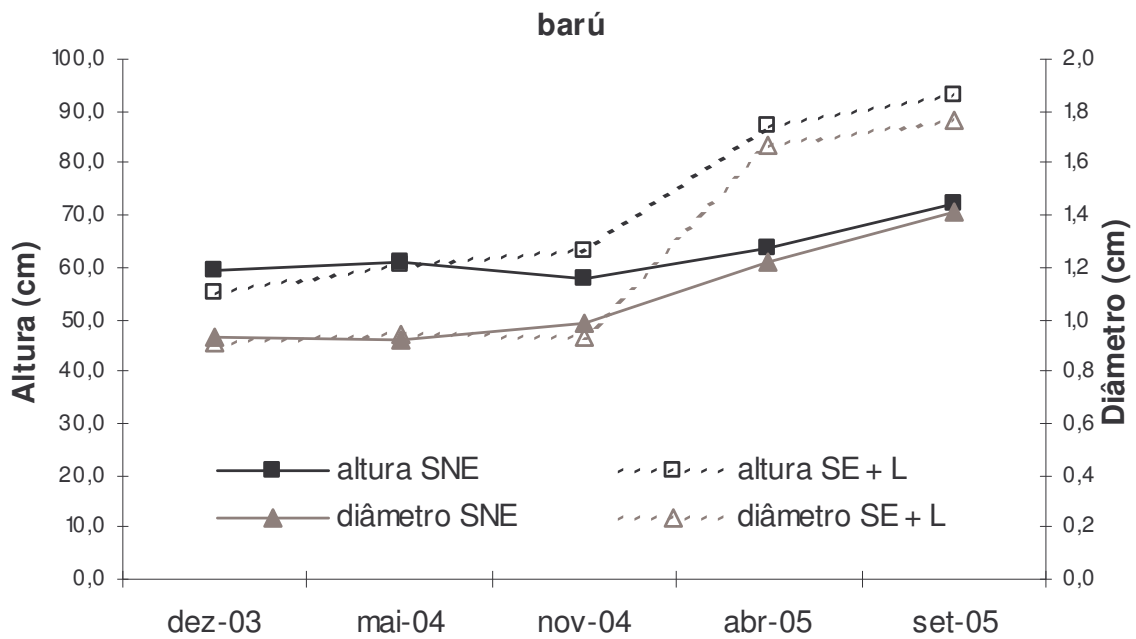


Figura 12. Curvas de crescimento em altura e diâmetro do coleto do barú (*Dipteryx alata*) em substrato não escarificado (SNE) e em substrato escarificado + *Stylosanthes* spp (SE + L), no período de 21 meses após o plantio.

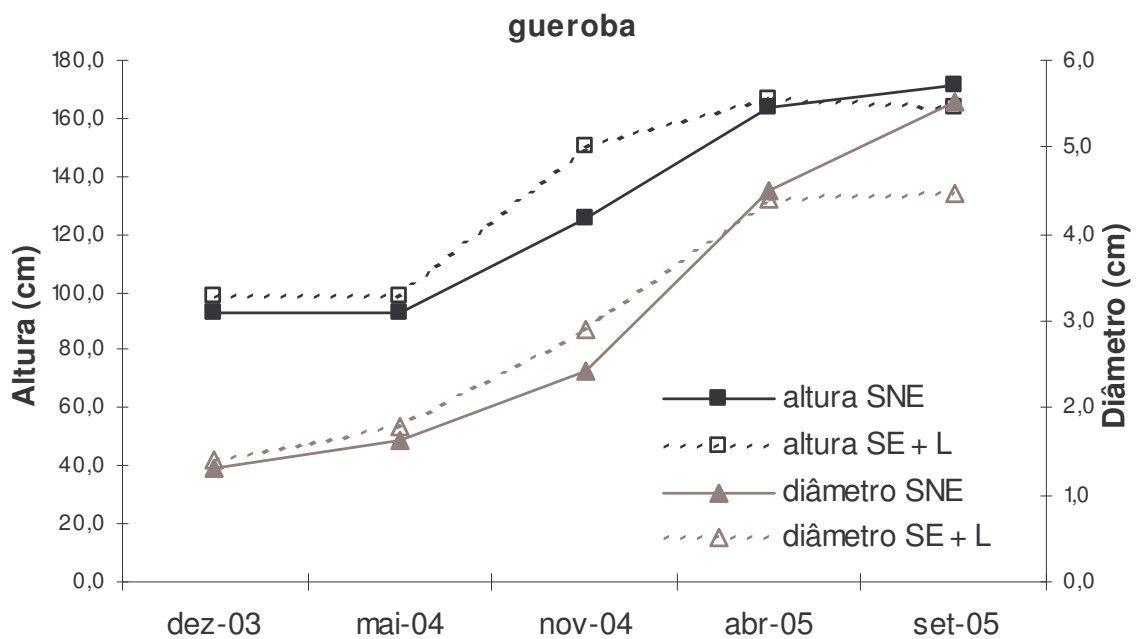


Figura 13. Curvas de crescimento em altura e diâmetro do coleto da gueroba (*Syagrus oleraceae*) em substrato não escarificado (SNE) e em substrato escarificado + *Stylosanthes* spp (SE + L), no período de 21 meses após o plantio.

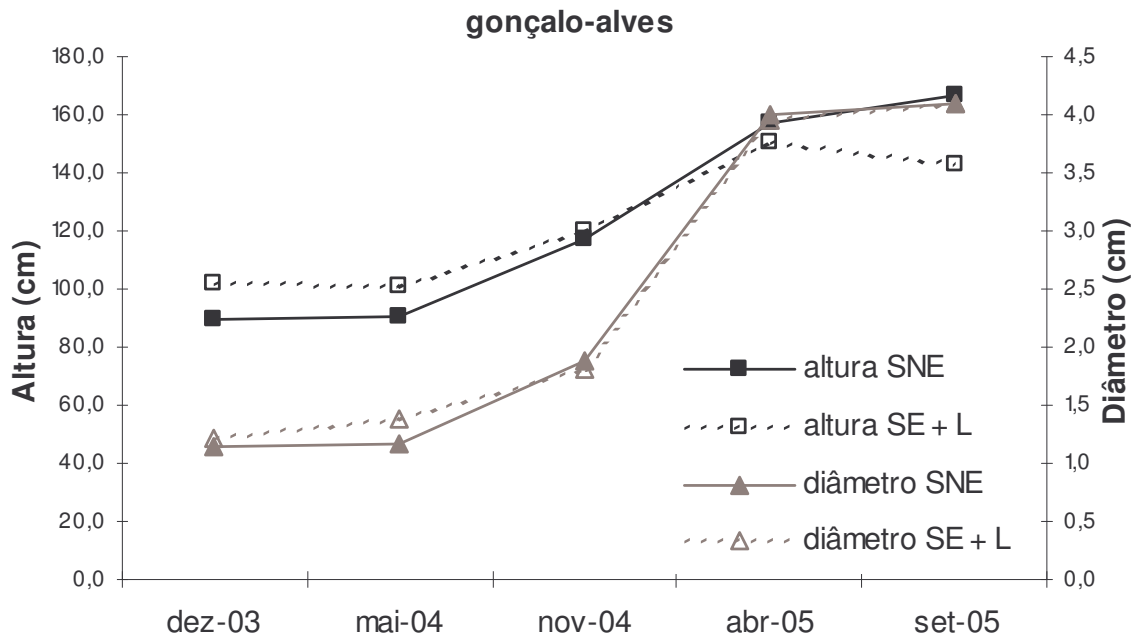


Figura 14. Curvas de crescimento em altura e diâmetro do coleto do gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium*) em substrato não escarificado (SNE) e em substrato escarificado + *Stylosanthes* spp (SE + L), no período de 21 meses após o plantio.

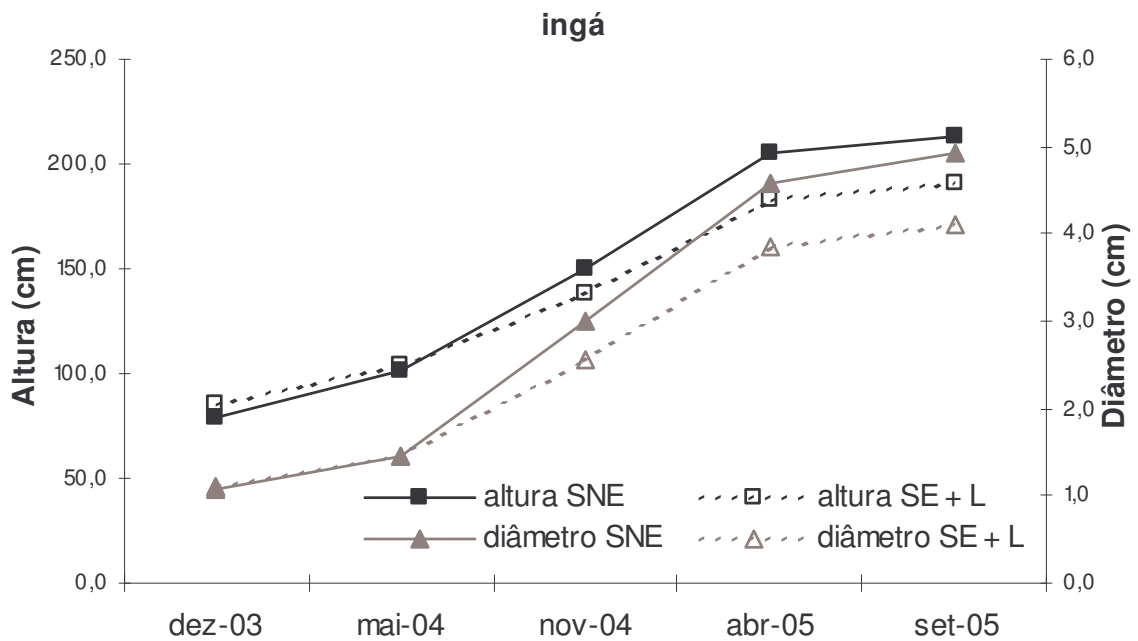


Figura 15. Curvas de crescimento em altura e diâmetro do coleto do ingá (*Inga marginata*) em substrato não escarificado (SNE) e em substrato escarificado + *Stylosanthes* spp (SE + L), no período de 21 meses após o plantio.

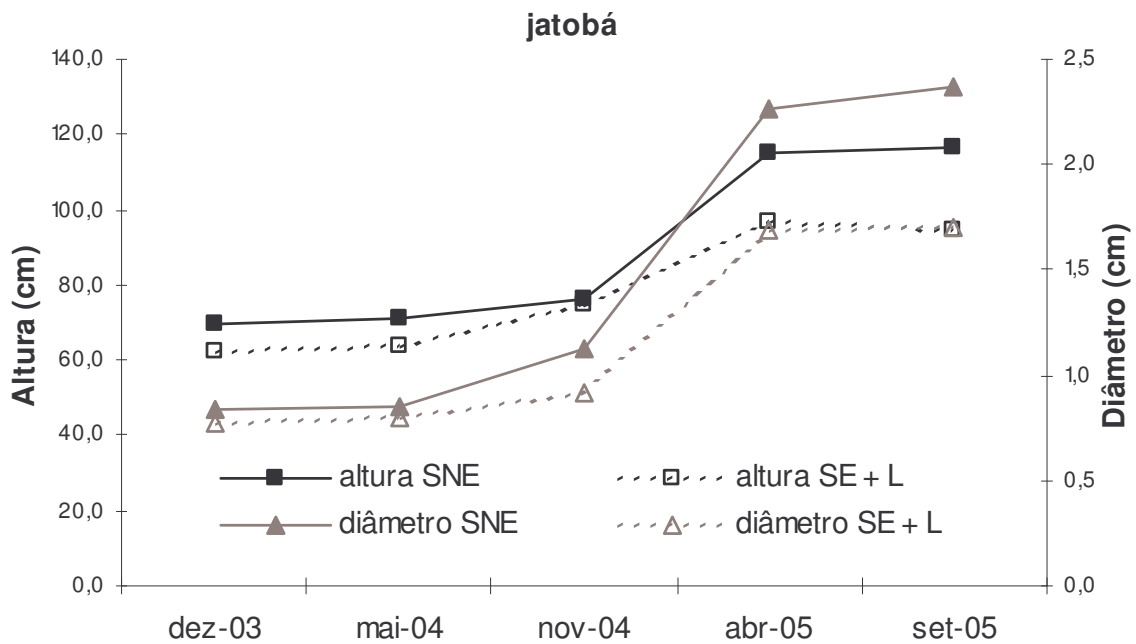


Figura 16. Curvas de crescimento em altura e diâmetro do coletor do jatobá (*Hymenaea courbaril*) em substrato não escarificado (SNE) e em substrato escarificado + *Stylosanthes* spp (SE + L), no período de 21 meses após o plantio.

Analisando as curvas de crescimento (Figuras 11 a 16), percebe-se que, de dezembro de 2003 a maio de 2004, primeiro período chuvoso, os maiores crescimentos relativos em altura foram observados em *P. ramiflora* plantado em SE + L (28% de crescimento em altura e 8% em diâmetro) e em *I. marginata* plantado em SNE (28% de crescimento em altura e 35% em diâmetro).

Na primeira estação seca, de maio a novembro de 2004, os destaques foram *S. oleraceae* em SE + L e *I. marginata* em SNE com, respectivamente, 52% e 49% de incremento em altura, e 62% e 105% em diâmetro. Nesse período, observou-se em *P. ramiflora* um decréscimo de 23% em altura e 2% em diâmetro.

No segundo período de chuvas, todas as espécies, tanto em SE + L como em SNE, obtiveram um incremento positivo em altura e diâmetro. Esse foi o período no qual o desenvolvimento médio das plantas foi mais significativo, com destaque para *H. courbaril* em SNE (51% de crescimento relativo em altura e 102% em diâmetro). Nesse mesmo período, percebe-se um maior incremento em altura para *S. oleraceae*, *A. fraxinifolium*, *I. marginata* e *H. courbaril* plantados em SNE, o que não ocorre com *D. alata*, que começa a apresentar um tendência a um maior desenvolvimento em SE + L. No segundo período de seca, de abril a setembro de 2005, *P. ramiflora*, *S. oleraceae*, *A. fraxinifolium* e *H. courbaril* plantados em SE + L sofreram um decréscimo absoluto de crescimento em altura, o que não ocorreu nas plantas dessas espécies em SNE. Isso pode ser explicado pela competição exercida pelo estrato herbáceo sobre essas plantas nesse período.

Índice de Valor de Cobertura (IVC)

Os dados de valor de cobertura das espécies arbóreas, apresentados na tabela 12, confirmam os resultados observados nas curvas de crescimento das árvores (Figuras 11 a 16).

Tabela 12. Índice de Valor de Cobertura (IVC) das espécies arbóreas na área da cascalheira e no cerrado desmatado, em dezembro de 2003 e em setembro de 2005.

Espécies arbóreas	Áreas							
	Cascal I	Cascal II	SNE I	SNE II	SE + L I	SE + L II	CD I	CD II
<i>P. ramiflora</i>	20,18	5,05	20,73	7,72	19,67	3,88	22,05	14,41
<i>D. alata</i>	28,16	19,39	28,95	17,94	27,42	20,88	27,24	10,33
<i>A. fraxinifolium</i>	36,37	45,72	36,00	43,53	36,72	48,72	43,69	67,38
<i>S. oleraceae</i>	56,76	52,70	54,55	54,29	58,82	49,90	38,16	31,69
<i>I. marginata</i>	33,25	50,07	33,50	48,59	33,01	51,18	42,99	51,50
<i>H. courbaril</i>	25,30	27,06	26,30	27,93	24,37	25,44	25,89	24,68

Legenda: **SNE** – Tratamentos com árvores plantadas em substrato não escarificado, com e sem cobertura morta; **SE + L** – Tratamentos com árvores plantadas em substrato escarificado, com *Stylosanthes* spp, com e sem cobertura morta; **CD** – área controle no cerrado desmatado; **Cascal** – soma de todos os tratamentos na área da cascalheira; **I** – Momento I (dezembro de 2003); **II** – Momento II (setembro de 2005).

Em setembro de 2005, 21 meses após o plantio, o valor de cobertura de *P. ramiflora*, de *D. alata* e de *S. oleraceae* em SNE e SE + L decresceu em relação ao valor calculado no início da revegetação da cascalheira (Tabela 12). Por outro lado, o valor de cobertura de *A. fraxinifolium* e *I. marginata* aumentou tanto na área da cascalheira quanto no cerrado desmatado. *A. fraxinifolium*, *S. oleraceae* e *I. marginata* se destacaram em relação a *P. ramiflora*, *D. alata* e *H. courbaril*, no tocante aos valores de IVC calculados nos dois momentos, em parte, devido ao maior porte das mudas. O maior valor de IVC em SNE II foi obtido por *S. oleraceae* (54,29). Em SE + L II, o IVC de *I. marginata* (51,18), de *S. oleraceae* (49,90) e de *A. fraxinifolium* (48,72) foram muito semelhantes. O menor IVC foi o de *P. ramiflora*, 3,88, em SE + L II. Em setembro de 2005, o maior IVC no cerrado desmatado foi o de *A. fraxinifolium* (67,38), seguido de *I. marginata* (51,50).

Diversidade de espécies

O Índice de Diversidade de Shannon (H') foi calculado para os diversos tratamentos na cascalheira e para a área controle no cerrado desmatado (Tabela 13).

No momento da implantação do experimento, em dezembro de 2003, a cálculo do H' fornecia um valor de 1,79 bel. Quase dois anos depois, em setembro de 2005, considerando as árvores plantadas em SNE e SE + L, obtém-se um H' de 1,74 bel e 1,70 bel, respectivamente (Tabela 13). Esses valores correspondem à metade da média dos valores encontrados por Felfili e Silva Jr. (1993) em diversas áreas de cerrado sensu stricto ($H' = 3,41$ bel). Como, até o momento observado, não houve introdução espontânea de outras espécies arbóreas na área experimental da cascalheira, a maior diversidade encontrada em SNE deve-se à maior sobrevivência das mudas nesses módulos.

Tabela 13. Índice de Shannon (H') calculado para a área da cascalheira, para a área controle no cerrado desmatado e para o cerrado sensu stricto, em setembro de 2005.

Áreas	H' (bel)
Tratamento 1 (SNE – CM)	1,70
Tratamento 2 (SNE + CM)	1,77
Tratamento 3 (SE + L – CM)	1,60
Tratamento 4 (SE + L + CM)	1,74
Trat 1+2 (SNE)	1,74
Trat 3+4 (SE + L)	1,70
Tratamentos 1+2+3+4 (Área total da cascalheira)	1,73
Cerrado desmatado (controle)	1,74
Cerrado sensu stricto*	3,41*

* Média dos valores encontrados por Felfili e Silva Jr. (1993)

Os valores de diversidade alfa da área da cascalheira (1,72 bel) e do cerrado desmatado (1,74 bel) são devidos às seis espécies arbóreas plantadas inicialmente. A revegetação com um maior número de espécies, provavelmente elevaria os valores de H' para valores mais próximos aos do cerrado nativo. Entretanto, Leão et al. (2005) encontraram quinze diferentes espécies arbóreas em uma cascalheira no Distrito Federal e obtiveram H' variando entre 1,26 e 1,51 bel, valores menores que os calculados neste trabalho, onde foram plantadas apenas seis espécies. Essa diferença se deve ao esforço amostral, que neste estudo considera não uma amostra, mas sim, todas as plantas, fornecendo o valor real de H' .

A qualidade superior do substrato nos módulos escarificados e com leguminosa poderá facilitar o processo de sucessão secundária. Por outro lado, a sucessão poderá ser dificultada pela camada herbácea densa formada pelo *Stylosanthes* spp nessas áreas. É necessário continuar acompanhando o processo de sucessão natural nos diferentes manejos para se observar qual deles proporcionará maior incremento na diversidade de espécies ao longo do tempo. Segundo Corrêa (2004), a colonização de uma área em recuperação, por outras espécies, pode indicar condições favoráveis do substrato à sucessão secundária.

Recuperação da cascalheira

Índice de Qualidade da Cascalheira (IQC)

A dificuldade de se estabelecerem parâmetros e indicadores que possam fornecer, com confiabilidade e a custos baixos, informações sobre o estado qualitativo de uma área minerada é grande. Essa é uma das razões que desestimulam o monitoramento da revegetação dessas áreas. É improvável que se possam desenvolver indicadores de uso universal. Cada situação e cada ambiente a ser recuperado exigirão indicadores específicos (Rodrigues e Gandolfi, 2001).

A não existência de parâmetros oficiais para se determinar a qualidade de uma cascalheira revegetada e a necessidade de monitoramento dessas áreas motivaram a criação de um índice, o Índice de Qualidade da Cascalheira (IQC), que refletisse de maneira satisfatória o

estado da área revegetada. Nesse sentido, foram selecionados três parâmetros: um parâmetro de qualidade do solo/substrato, o IQS; um que mede a proteção da camada do solo/substrato, representado pelo grau de cobertura do estrato herbáceo (GC); e um parâmetro fitossociológico, que mede a diversidade de espécies arbóreas na área, o Índice de Diversidade de Shannon (H'). Um diagrama foi construído para representar cada um desses indicadores que compõem o IQC dos diferentes manejos do substrato da cascalheira, após um ano do início da revegetação (Figura 17).

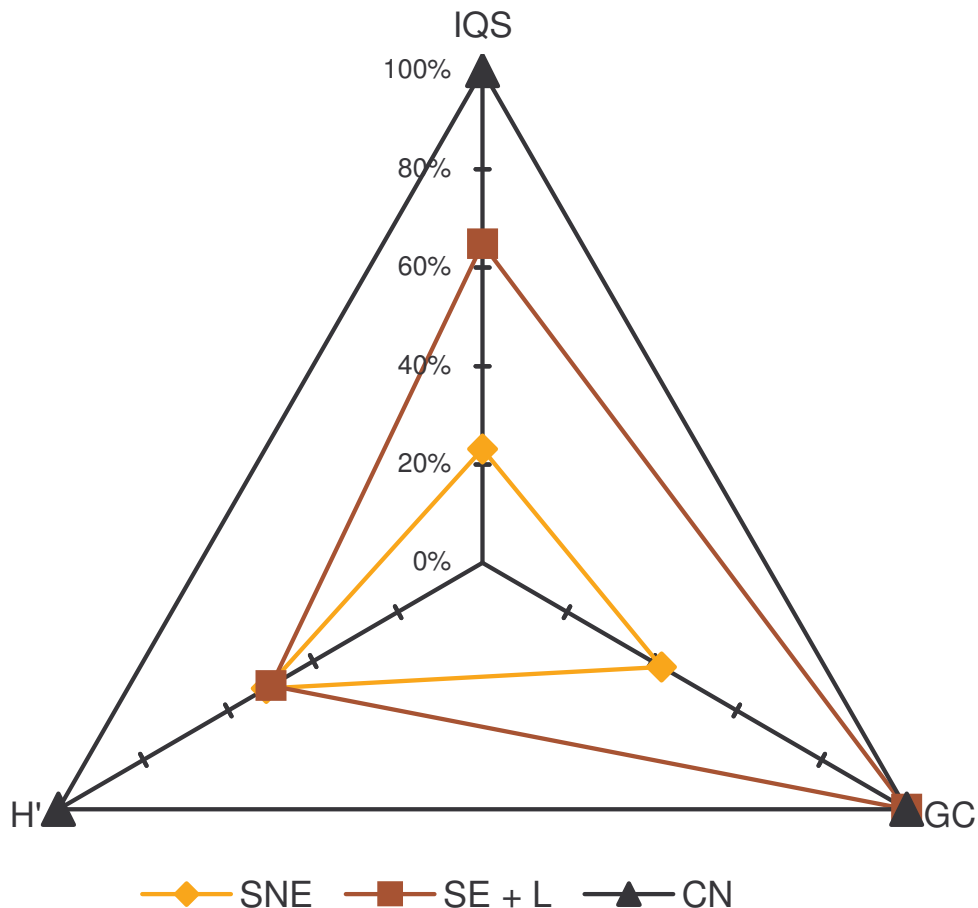


Figura 17. Diagrama da qualidade da área da cascalheira sob dois manejos, após mais de um ano do início da revegetação.

Legenda: Áreas manejadas com substrato não escarificado (**SNE**), com e sem cobertura morta; áreas com substrato escarificado + estilosantes (**SE + L**), com e sem cobertura morta; cerrado nativo (**CN**); Índice de Qualidade do Solo/substrato (**IQS**); grau de cobertura formado pelo estrato herbáceo (**GC**); Índice de Diversidade de Shannon (**H'**).

Também não existem valores de referência oficiais que determinem quando uma cascalheira revegetada pode ser dada como recuperada. Optou-se, então, por adotar os valores do cerrado nativo, apesar do objetivo da revegetação, neste trabalho, não ter sido o retorno da área ao seu estado original, mas sim, a um estado ambientalmente sustentável e capaz de prosseguir com a sucessão secundária. Dessa maneira, a qualidade do solo do cerrado foi a referência para o substrato da cascalheira; a diversidade de espécies (H') ideal foi a média de diversos valores encontrados por Felfili e Silva Jr. (1993) para o cerrado *sensu stricto*; e a

proteção de mais de 75% da camada de substrato foi considerada como ideal, completando o tripé de parâmetros que formam o IQC. Adotaram-se, portanto, valores que visam ao retorno da área a um estado semelhante ao encontrado antes da mineração.

Observando a figura 17, nota-se que, em pouco mais de um ano, os módulos manejados com o plantio simultâneo de árvores e do *Stylosanthes* spp sobre um substrato escarificado (SE + L) evoluíram mais em qualidade se comparados aos módulos manejados apenas com o plantio de árvores sobre o substrato não escarificado (SNE). A descompactação do substrato e o plantio da leguminosa herbácea em SE + L proporcionou um aumento considerável na qualidade do substrato (IQS) e no grau de cobertura da camada rasteira (GC). Em função do curto período de observação, a diversidade de espécies (H') foi bastante semelhante nos dois manejos, alcançando cerca de metade da diversidade do cerrado nativo, até o momento. Enquanto o IQS do substrato em SE + L era 65% do IQS do solo do cerrado nativo, o das áreas SNE era de apenas 23%. O grau de cobertura da camada herbácea (GC) nas áreas SE + L era igual ao do cerrado, enquanto em SNE era inferior a metade do grau de cobertura no cerrado.

Calculando o IQC da área da cascalheira antes do início do processo de recuperação, encontra-se um valor de 0,067, considerando zero de grau de cobertura, zero de diversidade de espécies e o IQS do substrato original da cascalheira. O IQC em SE + L atingiu, após um ano, 0,715, valor quase duas vezes superior ao calculado em SNE (0,388) e muito semelhante ao da área controle no cerrado desmatado (0,717) (Tabela 14).

Tabela 14. Índice de Qualidade da Cascalheira (IQC) após um ano do início da revegetação, da área controle do cerrado desmatado e do cerrado nativo, e da cascalheira antes da revegetação.

Áreas	IQC
Cascalheira antes da revegetação	0,067
Cascalheira revegetada com estrato arbóreo (SNE)	0,388
Cascalheira revegetada com estrato arbóreo + <i>Stylosanthes</i> spp (SE + L)	0,715
Cerrado desmatado	0,717
Cerrado nativo	1,000

Almeida e Sánches (2005) utilizaram o aspecto visual, a densidade e a altura média de plantas, o número de espécies arbóreas e a mortalidade de mudas para avaliar os resultados da recuperação em áreas de extração de areia no estado de São Paulo. Além da confiabilidade e da acuidade do método de avaliação, a simplicidade e exequibilidade são fatores que determinarão sua utilização ou não. O grau de cobertura e o índice de Shannon são parâmetros de fácil obtenção e de custo relativamente baixo. O parâmetro que avalia a qualidade do substrato da cascalheira, o IQS, necessitou, para sua formação, de análises laboratoriais e de testes de infiltração em campo. Apesar disso, o IQS é um parâmetro de extrema importância e, portanto, não deve ser negligenciado nem deixado de fora da composição do IQC, pois a melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do substrato é um dos principais objetivos da revegetação. Ao contrário do método de avaliação proposto por Almeida e Sánches (2005), que considerou apenas aspectos da vegetação, o IQC abrange, também, a qualidade do substrato da área degradada.

Custo da revegetação

A estimativa dos custos variáveis para recuperação da cascalheira através da revegetação com espécies arbóreas nativas do cerrado sob os vários manejos do substrato estudados neste experimento encontra-se na tabela 15. As planilhas de orçamento detalhadas encontram-se nos anexos B (Tabelas B.1, B.2, B.3 e B.4).

Tabela 15. Custo de revegetação da cascalheira submetida a diferentes manejos.

Manejos	Custo por hectare*
Tratamento 1 (SNE – CM)	R\$ 3.292,22
Tratamento 2 (SNE + CM)	R\$ 3.647,97
Tratamento 3 (SE + L – CM)	R\$ 6.594,49
Tratamento 4 (SE + L + CM)	R\$ 6.953,75

* Considera apenas os custos variáveis; valores referentes a setembro de 2005.

Legenda: **SNE – CM** (plantio de mudas arbóreas do cerrado em substrato não escarificado); **SNE + CM** (plantio de mudas arbóreas do cerrado em substrato não escarificado + cobertura morta na coroa das covas de plantio); **SE + L – CM** (plantio de mudas arbóreas do cerrado em substrato escarificado + plantio de *Stylosanthes* spp como estrato herbáceo); **SE + L + CM** (plantio de mudas arbóreas do cerrado em substrato escarificado + plantio de *Stylosanthes* spp como estrato herbáceo + cobertura morta).

O custo para a revegetação de um hectare de cascalheira quando o substrato é manejado com escarificação mais o plantio de uma leguminosa (SE + L – CM) foi o dobro em relação ao tratamento sem escarificação (SNE – CM) (Tabela 15). Em SE + L – CM os custos relativos aos equipamentos como trator de esteira (R\$ 829,29 ha⁻¹) e caminhão para o transporte dos insumos (R\$ 900,90 ha⁻¹) totalizaram R\$ 1.953,02 ha⁻¹, 30% do custo total. Sem a escarificação do substrato (SNE – CM), as despesas com equipamentos caem para R\$ 539,20 por hectare, 16% do total gasto nesse tratamento. As mudas arbóreas representam um custo de R\$ 1.493,75 ha⁻¹, o que significa 45% do total gasto no tratamento 1 (SNE – CM) e 23% no tratamento 3 (SE + L – CM). Foi considerado apenas o custo de transporte e aplicação do composto de lixo urbano e do cavaco de madeira usado na cobertura morta das covas. Por isso, a aplicação do cavaco de madeira nos tratamentos 2 e 4 representou um custo adicional de cerca de R\$ 350,00. Esse valor equivale a um acréscimo de 10% nos custos do tratamento 2 em relação ao tratamento 1; e 5%, no caso do tratamento 4 em comparação com o tratamento 3. Apesar de parecer ter contribuído na maior sobrevivência das mudas, a CM não proporcionou um maior desenvolvimento delas. A CM também não influenciou no número de capinas realizadas. Portanto, essa despesa adicional não deve ser desprezada, principalmente quando se tratar da recuperação de extensas áreas mineradas.

Benefício técnico versus custo financeiro da revegetação

A avaliação dos benefícios gerados pela recuperação (revegetação) de uma área degradada é bastante complexa e subjetiva, assim como também é a avaliação dos danos ambientais causados em uma determinada área. Almeida (2004) explica a metodologia adotada

pelo Instituto de Criminalística da Polícia Civil do Distrito Federal para a avaliação desses danos, que se baseia em três princípios: a proporcionalidade (áreas que sofreram diferentes graus de alteração possuem custos diferentes); a igualdade (áreas semelhantes possuem avaliações semelhantes); e a simplicidade (a metodologia deve ser entendível por todas as partes envolvidas). Ele afirma que existem diversos métodos, mas são, na sua maioria, subjetivos, de difícil assimilação, ou possuem um custo muito alto e são viáveis apenas em incidentes graves o suficiente para justificar o seu uso. Para a avaliação dos danos ambientais diretos, Almeida (2004) considera os custos relativos à restauração da área, que será sempre inferior ao custo real de restauração, pois não considera valores de difícil mensuração.

Dessa maneira, usando o princípio da simplicidade, neste trabalho, a avaliação dos benefícios gerados por cada manejo restringiu-se àqueles de mais fácil mensuração e desconsiderou os benefícios indiretos e subjetivos, de difícil mensuração como, por exemplo, beleza cênica e restabelecimento do equilíbrio ecológico. Seguindo esse raciocínio, os parâmetros relativos à qualidade do substrato, ao grau de cobertura do estrato herbáceo e à diversidade de espécies, o índice de Shannon, foram escolhidos para compor o Índice de Qualidade da Área (IQC). Portanto, o IQC reflete o benefício técnico gerado após um ano e meio do início da revegetação – momento II.

Calculando o IQC da área da cascalheira antes da revegetação chega-se a um valor de 6,7 %, considerando o IQS do substrato original da cascalheira e a ausência total de vegetação arbórea e herbácea. A diferença entre esse valor e o valor do IQC em SE + L – CM (71,5%) e SNE – CM (38,8%) no momento II fornece o ganho de qualidade proporcionado por cada um desses manejos. Conforme discutido anteriormente, estimar o valor monetário desse benefício ambiental seria extremamente complexo e subjetivo. Portanto, para facilitar o entendimento e a avaliação da relação benefício/custo dos manejos estudados neste trabalho, considerou-se 1 ponto percentual de IQC equivalente a R\$ 1.000,00.

Assim, para se elevar um ponto no IQC da área minerada da cascalheira foram necessários R\$ 102,56 ha⁻¹ quando se considera o manejo adotado no tratamento 1 (SNE – CM) e R\$ 101,77 ha⁻¹ quando o manejo for o do tratamento 3 (SE + L – CM). O benefício/custo seria, então, de R\$ 9,75 para SNE – CM, e R\$ 9,83 para SE + L – CM. Esses valores mostram que, apesar de mais dispendioso, o investimento feito para o plantio de árvores sobre substrato escarificado, adubado e plantado com leguminosa (SE + L – CM) é muito semelhante ao manejo sem escarificação e sem leguminosa (SNE – CM), com uma pequena vantagem para SE + L – CM.

Apenas a título de ilustração, considerando-se os custos de revegetação calculados neste trabalho para o tratamento 1 (SNE – CM), seriam necessários R\$ 11.256.100,18 para se revegetar os 3.419 hectares, estimados por Corrêa et al. (2004a), de áreas degradadas pela mineração no DF. Esse valor dobraria se o manejo adotado fosse SE + L – CM (R\$ 22.546.561,31).

Normalmente, os PRAD de cascalheiras recomendam a extração de cascalho até um metro de profundidade. Assim, um hectare de cascalheira forneceria cerca de 10.000m³ de

cascalho. Atualmente, o valor de mercado de 1m³ desse material varia entre R\$ 4,00 e R\$ 8,00, dependendo da sua qualidade. Dessa maneira, 1 (um) hectare poderia gerar uma receita de R\$ 40.000,00 a R\$ 80.000,00 em cascalho. Isso significa que cerca de 5% de uma receita média de R\$ 60.000,00 seriam suficientes para recuperar a área com o manejo do tratamento 1 (SNE – CM), e 11% com o manejo adotado no tratamento 4 (SE + L + CM).

Discussão geral

Sobre as áreas degradadas pela exploração de cascalho no Distrito Federal pode-se constatar que: i) os substratos minerados são, em geral, mais pobres que os solos de cerrado nativo, em matéria orgânica e nutrientes; ii) apesar de não ser ponto pacífico, a adubação do substrato de cascalheiras tem proporcionado um incremento no desenvolvimento de várias espécies arbóreas nativas utilizadas em projetos de revegetação; iii) a falta de manutenção adequada e de monitoramento são os principais fatores de insucesso de vários desses projetos; e iv) o Distrito Federal não possui critérios para avaliar o processo de recuperação de áreas degradadas nem valores de referência para embasar essa avaliação.

A recomendação da técnica de revegetação mais adequada para a recuperação de uma cascalheira deve se pautar primeiramente em critérios técnicos, além dos objetivos da revegetação e da disponibilidade de recursos. Critérios técnicos incluem fatores como a topografia da área, o tipo de substrato, a localização da mina, o grau de perturbação, dentre outros. O retorno da área ao *status quo ante* (restauração), a recuperação até um nível de sustentabilidade aceitável para que a sucessão secundária ocorra naturalmente, e a reabilitação com objetivo de exploração econômica futura são maneiras diferentes de recomposição de um sítio degradado, o que demanda PRAD com recomendações específicas para cada caso.

No Distrito Federal, a técnica mais comumente recomendada para recuperação de cascalheiras é a implantação de uma camada arbórea e herbácea, concomitantemente, manejo semelhante ao que foi estudado nos tratamentos 3 e 4 do presente trabalho. Como se viu, esse manejo proporcionou uma considerável melhoria na qualidade do substrato, principalmente em termos físicos, o que, por conseqüência, resultou num índice de qualidade (IQC) dessas áreas duas vezes maior em relação às áreas manejadas apenas com o plantio de um estrato arbóreo. As espécies arbóreas, todavia, não obtiveram maior desenvolvimento, em resposta à melhoria na qualidade do substrato e à implantação do *Stylosanthes* spp na camada herbácea. Ao contrário, o incremento médio em altura e diâmetro das espécies arbóreas foi maior nas áreas com substrato não escarificado (SNE), nas quais não houve o plantio de uma camada herbácea. Isso se explica, em parte, pela competição das mudas arbóreas com o *Stylosanthes* spp por água, luz e nutrientes, sem considerar os fatores genéticos, ecológicos e nutricionais inerentes a cada espécie. Outros métodos de revegetação devem ser testados.

A velocidade de regeneração natural de uma cascalheira é muito lenta. O início do processo de sucessão secundária pode levar dezenas de anos. O tipo de intervenção vai determinar também a velocidade de recuperação de uma área degradada. Não existem estudos suficientes para que se possa prever a velocidade de uma sucessão secundária. As variáveis envolvidas são tantas que, possivelmente, nunca se chegue a uma resposta para essa questão. É impossível se fazer generalizações. Corrêa et al. (2005) verificaram que uma cascalheira há vinte anos desprovida de vegetação teve uma aceleração significativa na sucessão secundária após a introdução de apenas duas espécies arbóreas e com tratamento do substrato limitado apenas às covas de plantio. Almeida e Sánches (2005) constataram que a regeneração natural estava sendo

um fator determinante na diversificação de espécies em minerações de areia no Estado de São Paulo. Diante dessas constatações, percebe-se que altos investimentos para revegetação de cascalheiras podem não ser necessários ou indispensáveis. A capacidade de regeneração natural dessas áreas, embora muito lento, é estimulada e acelerada com intervenções simples e de baixo custo como, por exemplo, o isolamento da área, a construção de terraços, e a descompactação do substrato, como se propõe no sistema de regeneração induzida de Corrêa (2004). Neste trabalho, verificou-se a formação de uma densa camada herbácea nas áreas onde o estilosantes foi implantado. Por um lado, o substrato minerado será beneficiado por esse manejo, mas, por outro, é incerta a sua influência no processo de sucessão secundária, pois essa densa camada pode dificultar a entrada de sementes e a sua germinação. O plantio de uma grande variedade de espécies também se constitui numa prática desnecessária quando o objetivo não é a restauração da área, mas sim a sua recuperação, e quando não há pressa nem o intuito de se atingir uma alta diversidade de espécies.

Quanto à seleção das espécies, todas as nativas têm potencial para serem utilizadas, desde que as mudas sejam plantadas no início da época chuvosa e tenham um porte mínimo para suportar a estação seca. Embora algumas espécies demonstrem melhor desempenho que outras em áreas mineradas, não se deve descartar o plantio de espécies ecologicamente importantes apenas por apresentarem menor capacidade de sobrevivência e desenvolvimento.

A adubação do substrato, outro ponto importante na revegetação de cascalheiras, dever ser visto com mais critério. Cada espécie arbórea do cerrado possui uma exigência nutricional diferente. A aplicação de fertilizantes químicos auxilia no desenvolvimento de certas espécies, mas atrapalha no de outras. Sua recomendação não deve ser feita indiscriminadamente. A adição de material orgânico, quando em quantidades adequadas, tem afetado positivamente o crescimento das árvores e estimulado a formação da camada herbácea nos substratos minerados. Portanto, a aplicação de fontes de matéria orgânica às covas de plantio e à camada de substrato é bastante recomendável.

Reconhece-se a escassez de estudos científicos referentes a técnicas de revegetação de cascalheiras no Distrito Federal. Ainda assim, os resultados deste trabalho, unidos aos de outros, permitem que se avance nas recomendações atualmente seguidas pelos agentes envolvidos com esse tema na região. O avanço nas recomendações técnicas deve estar acompanhado por avanços no monitoramento pós-implantação do projeto de revegetação, outro ponto crítico, que tem se mostrado fator de insucesso na recuperação dessas áreas.

É importante se estabelecer critérios mínimos para a avaliação e o monitoramento dessas áreas. Quais devem ser os indicadores e os valores de referência para que uma área seja dada como recuperada? Essa determinação viabilizará e facilitará os trabalhos de fiscalização dos órgãos ambientais competentes.

Após a seleção dos indicadores, é necessária a escolha dos valores de referência mais adequados. Esses valores devem considerar qual é o objetivo final da revegetação. Quando se tratar de uma restauração “*senso stricto*” da área degradada, os valores deverão ser, necessariamente, os que ocorrem no ambiente original. Se o objetivo for a reabilitação ou a

recuperação da área, os valores de referência deverão se basear em critérios distintos. Quando o objetivo da revegetação for o restabelecimento da vegetação nativa, espera-se que um dos indicadores forneça informações sobre a diversidade de espécies.

O modelo sugerido neste trabalho visa a auxiliar os órgãos ambientais na adoção de critérios e na criação de normas que rejam o monitoramento de um projeto de revegetação de cascalheira no Distrito Federal, com vistas à recuperação da área e o seu retorno a um estado ecologicamente sustentável. Os indicadores e os valores de referência para a avaliação de uma área degradada pela extração de cascalho devem pressupor que o objetivo da revegetação não é a restauração da área ao seu estado original, mas sim, o seu retorno a um estado ecologicamente e ambientalmente capaz de dar início ao processo de sucessão secundária.

Recomendações

1. A escarificação do substrato de cascalheiras, seguida da implantação de uma camada herbácea pode ser uma técnica de revegetação adequada para minas localizadas em relevo acidentado, onde há necessidade de maior proteção contra processos erosivos;
2. A implantação simultânea de um estrato arbóreo-arbustivo e outro herbáceo implica em uma manutenção mais rígida da camada herbácea, evitando ou diminuindo a competição com as mudas arbóreas;
3. O uso de mudas de abiu (*Pouteria ramiflora*) de pequeno porte em projetos de revegetação de cascalheira deve ser evitado devido à alta mortalidade (75%) observada;
4. *Inga marginata* obteve o maior incremento em altura, no período de 21 meses após o plantio, podendo ser recomendada como espécie pioneira na revegetação de cascalheiras.
5. A implantação de uma camada herbácea apenas, composta por gramíneas e leguminosas, seguida de incorporação ao substrato da cascalheira, visando à melhoria de seus atributos físicos, químicos e biológicos, para, posteriormente, se introduzir um estrato arbóreo-arbustivo, pode ser uma alternativa interessante para evitar a competição e proporcionar melhor desenvolvimento das espécies arbóreas.

CONCLUSÕES

1. A boa germinação do *Stylosanthes* spp (Mineirão), semeado nas áreas com substrato escarificado (SE + L) proporcionou uma boa proteção pela formação de um estrato herbáceo denso e formado, basicamente, pela leguminosa.
2. O Índice de Qualidade (IQS) do substrato nas áreas escarificadas e com *Stylosanthes* spp (SE + L), devido, principalmente, ao aumento expressivo na sua taxa de infiltração de água, foi superior ao IQS do substrato nos módulos não escarificados (SNE).
3. Decorridos mais de um ano do início da revegetação, os módulos que receberam o plantio de árvores sobre um substrato escarificado e com camada herbácea formada por estilosantes (SE + L) evoluíram mais em qualidade (IQC) se comparados aos módulos que receberam o plantio de árvores sobre o substrato não escarificado (SNE).
4. O sistema de revegetação da cascalheira com o estabelecimento concomitante de um estrato arbóreo e um herbáceo formado pelo *Stylosanthes* spp (SE + L) melhorou a qualidade do substrato (IQS) e a qualidade da área (IQC), mas competiu com as mudas arbóreas, prejudicando o desenvolvimento delas, em relação ao sistema de manejo com o plantio apenas do estrato arbóreo sobre o substrato não escarificado (SNE).
5. Ingá (*Inga marginata*) e gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium*) alcançaram maior sobrevivência (100%) em relação às demais espécies arbóreas, na área da cascalheira.
6. O crescimento das mudas arbóreas não foi influenciado pela cobertura morta de cavaco de madeira aplicada sobre as covas de plantio.
7. *A. fraxinifolium*, *S. oleraceae* e *I. marginata* se destacaram em relação a *P. ramiflora*, *D. alata* e *H. courbaril*, no tocante aos valores de cobertura (IVC) medidos em dezembro de 2003 (momento do plantio) e em setembro de 2005, 21 meses após.
8. Para cada ponto de melhoria no índice de qualidade (IQC) da área minerada da cascalheira foram investidos R\$ 102,56 ha⁻¹ quando o manejo foi o plantio de árvores sobre o substrato não escarificado (SNE – CM), e R\$ 101,77 ha⁻¹ quando o manejo adotado foi o plantio simultâneo de árvores sobre o substrato escarificado e com camada herbácea (SE + L – CM).
9. A relação benefício/custo nos módulos manejados com plantio simultâneo de um estrato arbóreo e um estrato herbáceo (SE + L – CM), apesar de mais dispendioso, foi muito semelhante à relação benefício/custo calculada para o manejo sem escarificação e sem implantação do estrato herbáceo (SNE – CM), com uma pequena vantagem para SE + L – CM.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, R. Perícia em local de extração mineral. In: CORRÊA, R. S.; BAPTISTA, G. M. M. **Mineração e áreas degradadas no cerrado**. Brasília: Universa. p. 105-122. 2004.

ALMEIDA, R. O. P. O.; SÁNCHEZ, L. E. Revegetação de áreas de mineração: critérios de monitoramento e avaliação do desempenho. **Revista Árvore**, Viçosa – MG, v. 29, n.1, p.47-54, 2005.

ARAÚJO, R. **Avaliação da qualidade do solo em áreas sob diferentes usos**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, 2004, 77p. Dissertação de Mestrado.

BRAGA, F. A.; VALE, F. R.; VENTORIM, N.; AUBERT, E.; LOPES, G. A. Requerimentos nutricionais de quatro espécies florestais. **Revista Árvore**, Viçosa, 1994.

BREMMER, J. M.; MULVANEY, C.S. 1982. Nitrogen - total. Pp. 595-624 In (A. L. Page, R. H. Miller and D. R. Keeney, eds) *Methods of soil analysis. Part 2. Agron. 9. Am. Soc. Agron. Madison, WI.*

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, Colombo – PR: Embrapa Florestas, 2003. 1 volume. 1039 p. Coleção Espécies Arbóreas Brasileiras.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: Recomendações silviculturais, potencialidades e usos da madeira**. EMBRAPA, CNPF. 639p. 1994.

CASTRO, A. J. R. **Licenciamento ambiental de cascalheira no Distrito Federal**. Brasília, 2002, 106 p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação *Stricto Sensu* em Planejamento e Gestão Ambiental. Universidade Católica de Brasília. Brasília, 2002.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. (5ª aproximação). RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Eds.). Viçosa: CFSEMG, 1999, 359p.

CORRÊA, R. S. **Recuperação de Áreas Degradadas no cerrado: Técnicas de revegetação**. Brasília: CREA-DF, 2004. 163 p. Apostila.

CORRÊA, R. S.; BIAS, E. S.; BAPTISTA, G. M. M. Áreas degradadas pela mineração no Distrito Federal. In: CORRÊA, R. S.; BAPTISTA, G. M. M. **Mineração e áreas degradadas no cerrado**. Brasília: Universa. p. 9-22. 2004a.

CORRÊA, R. S.; LEITE, L. L. Evolução do substrato de uma área minerada de cerrado no Parque Nacional de Brasília – DF. In: **III Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas**. Ouro Preto: Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas – SOBRADE, p. 125-135, 1997.

CORRÊA, R. S.; MELO FILHO, B. Aspectos ecológicos da sucessão secundária em áreas mineradas no cerrado. In: CORRÊA, R. S.; BAPTISTA, G. M. M. **Mineração e áreas degradadas no cerrado**. Brasília: Universa. p. 123-157. 2004

CORRÊA, R. S.; REGIS, D. N.; BORGES, C. L.; MELO, L. F. O.; PINA, E. R.; DUARTE, R. N.; CARVALHO, A. A. Uso de quatro bio-sólidos no cultivo de jatobá-do-cerrado (*Hymenaea stigonocarpa*) em área degradada pela mineração no cerrado. In: **3º Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental**. Taguatinga, DF. Tecnologia Ambiental, Trabalhos Completos, Resíduos Sólidos. CD ROM. Universidade Católica de Brasília, 3 a 7 de outubro de 2004b.

CORRÊA, R. S.; SILVA, L. C. R.; MELO FILHO, B. Evolução da diversidade de espécies da cobertura vegetal de uma área minerada em processo de recuperação no cerrado do Distrito Federal: contribuição da fauna. In: **VI Simpósio Nacional e Congresso Latino-americano de**

Recuperação de Áreas Degradadas. Curitiba: Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas – SOBRADE. p.99-106, 2005.

DAVIDE, A. C.; FARIA, J. M. R.; BOTELHO, S. A. **Propagação de espécies florestais.** Lavras: UFLA, 1995. 41p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solos.** 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FARIA, S. M. de; CHADA, S. de S. **Interação Microorganismos e Plantas na Recuperação de Áreas Degradadas.** Disponível em: <www.rc.unesp.br/xivsbps/Mesa03MSMF.pdf>. Acesso em: 20/06/2003.

FELFILI, J. M.; REZENDE, R. P. **Conceitos e métodos em fitossociologia.** Brasília: Universidade de Brasília / Departamento de Engenharia Florestal, 2003, 68p. (Comunicações Técnicas Florestais, v.5, n.1)

FELFILI, J. M.; SANTOS, A. A. B. **Direito ambiental e subsídios para a revegetação de áreas degradadas no Distrito Federal.** Brasília: Universidade de Brasília / Departamento de Engenharia Florestal, 2002, 135p. (Comunicações Técnicas Florestais, v.4, n.2)

FELFILI, J. M.; SILVA Jr., M. C. A comparative study of cerrado (sensu stricto) Vegetation in Central Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v. 9, p. 277-289, 1993.

GOEDERT, W. J.; CORRÊA, R. S. Usos, degradação e qualidade do solo. In: CORRÊA, R. S.; BAPTISTA, G. M. M. **Mineração e áreas degradadas no cerrado.** Brasília: Universa. p. 159-172. 2004.

ISLAM, K.R.; WEIL, R.R. Soil quality indicator properties in the mid-Atlantic region as influenced by conservation management. **Jour. Soil and Water Conserv.** 55:69-78. 2000a.

ISLAM, K.R.; WEIL, R.R. Land use effect on soil quality in tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agric., Ecosystems, and Environ.** 79:9-16. 2000b.

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil-V. A method for measuring soil biomass. **Soil Biol. Biochem.**, 8:209-213, 1976.

KAGEYAMA, P. Y.; BIELLA, L. C.; PALERMO Jr., A. Plantações mistas com espécies nativas com fins de proteção a reservatórios. In: **CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO 6, Anais.** Campos do Jordão: SBS/SBEF, 1990. p.109-113.

ISLAM, P.Y. Recomposição da vegetação com espécies arbóreas nativas em reservatórios de usinas hidrelétricas da CESP. Série Técnica IPEF, Piracicaba, v.8, n.25, 43 p. 1992.

LEÃO, R. A.; MEDEIROS, M. M.; BARRADOS, A. C. S.; CORRÊA, R. S. Avaliação de uma comunidade de árvores implantadas em uma cascalheira do Distrito Federal, dois anos após plantio. In: **VI Simpósio Nacional e Congresso Latino-americano de Recuperação de Áreas Degradadas.** Painéis. Curitiba: Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas – SOBRADE. p.535, 2005.

LEITE, L. L.; MARTINS, C. R.; HARIDASAN, M. Efeitos da descompactação e adubação do solo na revegetação espontânea de uma cascalheira no Parque Nacional de Brasília. In: **I SIMPÓSIO SUL-AMERICANO E II SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS.** Anais. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná - FUPEF, 1994, p.527 – 534.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 2ª ed. Nova Odessa, SP: Editora Plantarum, 352 p. vol. 2, 1998.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa, SP: Editora Plantarum, 352 p. vol. 1, 1992.

MARTINS, C. R. M.; LEITE, L. L.; HARIDASAN, M. Recuperação de uma área degradada pela mineração de cascalho com uso de gramíneas nativas. In: **Revista Árvore**, Viçosa – MG, v.25, n.2, p.157-166, 2001.

MESQUITA, P. G.; CORRÊA, R. S. Comparação entre o crescimento de três espécies arbóreas de cerrado em área nativa e em área minerada. In: **Revista do VII Congresso e Exposição Internacional sobre Florestas - Forest 2004**, p. 52 - 54 & Volume de Resumos, p. 31 - 32. Centro de Convenções da Academia de Tênis, 27 a 30 de setembro de 2004. Brasília, DF.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras, Editora UFLA, 2002. 625p.

ODUM, H. T. **Systems ecology**. New York: Wiley. 1983.

PINHEIRO, C. Q.; CORRÊA, R. S. Determinação da dose ideal de composto de lixo, lodo de esgoto e esterco bovino para produção de *Inga marginata* em substrato minerado. In: **3º Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental**. Tecnologia Ambiental, Trabalhos Completos, Resíduos Sólidos. CD ROM. Universidade Católica de Brasília, 3 a 7 de outubro de 2004. Taguatinga, DF.

PINHEIRO, C. Q.; SILVA, L. C. R.; CORRÊA, R. S. Survival and growth of baru (*Dipterix alata* Vog.) treated with sewage sludge, composted garbage or cattle manure on mined spoils in the brazilian Cerrado In: **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, Special Issue, 789-795, May, 2005.

RENÓ, N.B.; VALE, F.R.do; CURI, N.; SIQUEIRA, J.O. Requerimentos nutricionais de quatro espécies florestais nativas. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO 24**, Goiânia, 1993. **Resumos**, Goiânia: SBCS, p.211-212.

RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E.; MUNIZ, J. A.; CURI, N.; FAQUIN, V. Crescimento inicial de espécies florestais de diferentes grupos sucessionais em resposta a doses de fósforo. **Pesq. agropec. bras.**, nov. 1999, vol.34, no.11, p.2071-2081.

RESK, D. V. S. **Parâmetros conservacionistas dos solos sob vegetação de cerrados**. Circular Técnica nº 6. EMBRAPA, Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Planaltina-DF. 32p. 1981.

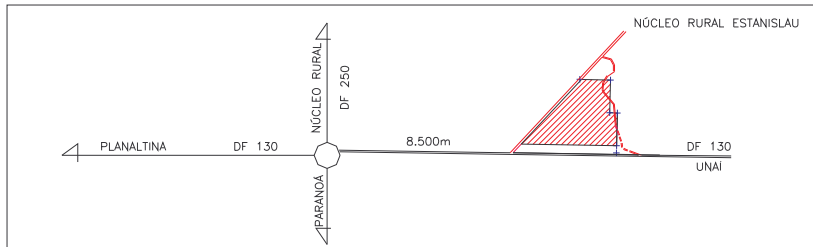
REYNOLDS, W. D.; VIEIRA, S. R.; TOPP, G. C. An assessment of the single-head analysis for the constant head well permeameter. **Cn J. Soil Sci.**, 72:489-501, 1992.

SAS INSTITUTE. **SAS statistical analysis system: user's guide**, version 8. Cary, 1997. 295p.

SILVA, A. F.; OLIVEIRA, R. V.; SANTOS, N. L. R.; PAULA, A. Composição florística e grupos ecológicos das espécies de um trecho de floresta semidecídua submontana da Fazenda São Geraldo, Viçosa – MG. **Revista Árvore**, v. 27, n.3, maio/junho de 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-676220030003000006&script=sci_arttext&tlng=pt>. Acessado em: 09/01/2006.

SILVA, L. C. R.; PINHEIRO, C. Q.; CORRÊA, R. S. Avaliação de estabelecimento e crescimento de seis espécies arbóreas do cerrado em área degradada por mineração. In: **VI Simpósio Nacional e Congresso Latino-americano de Recuperação de Áreas Degradadas**. Curitiba: Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas – SOBRADE. p.609, 2005. (resumo)

ANEXO A. LOCALIZAÇÃO DA CASCALHEIRA



SITUAÇÃO S/ESCALA

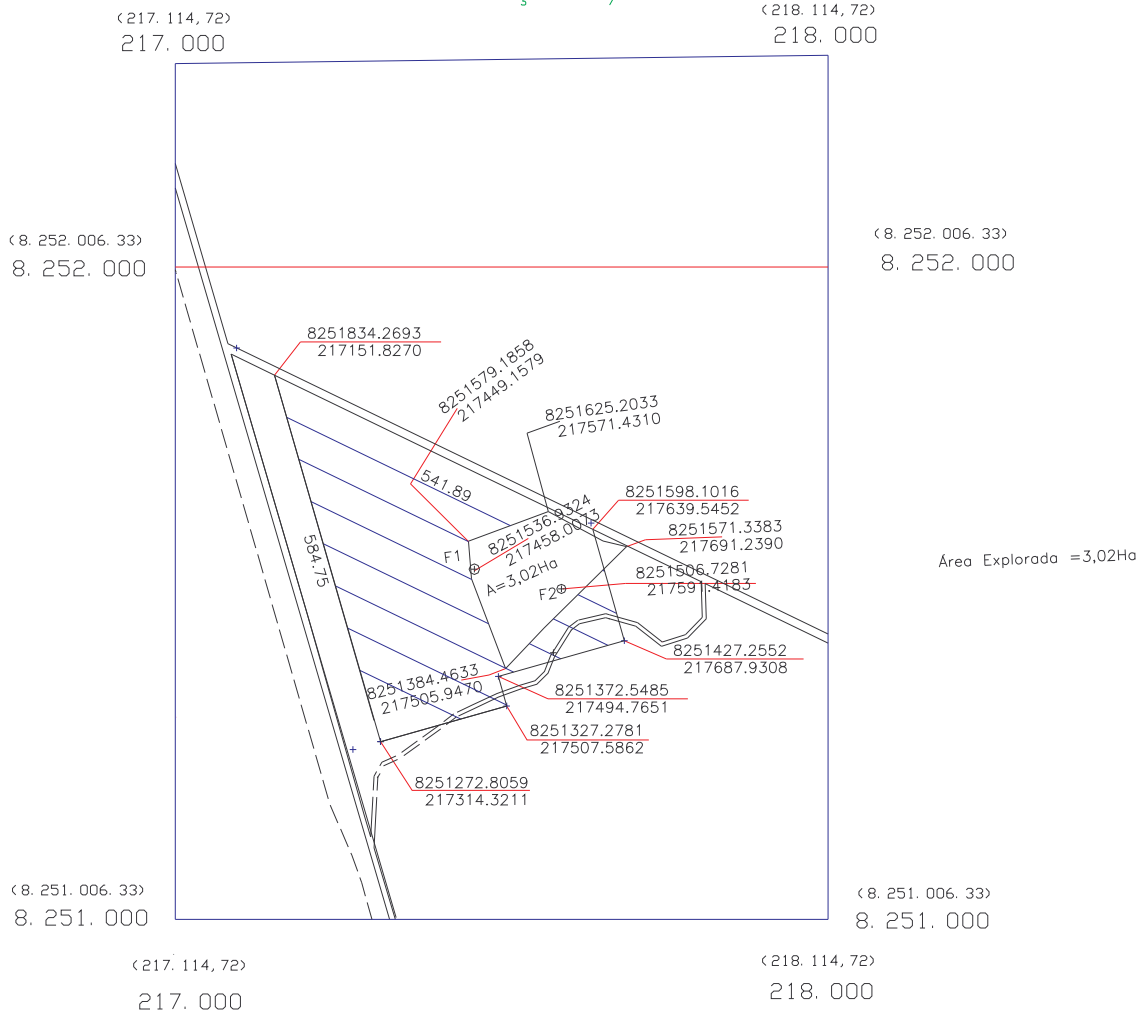


Figura A.1. Planta de situação da cascalheira, elaborada pela Divisão de Projetos / DEINFRA / DU / NOVACAP.

ANEXOS B. PLANILHAS DOS CUSTOS DE REVEGETAÇÃO

Tabela B.1. Custo de revegetação de 1 hectare de área minerada de cascalheira – Tratamento 1 (SNE – CM)¹

ESPECIFICAÇÃO DOS SERVIÇOS	Quant	Unid	Valor unit ²	Valor total
1. MÃO DE OBRA				
1.1 - Serventes				
1.1.1 - Adubação e fechamento de 625 covas	16	h	8,56	136,96
1.1.3 - Plantio de 625 mudas	10	h	8,56	85,60
1.1.4 - Capina de 625 corolas	40	h	8,56	342,40
1.2 - Encarregado	4	h	14,48	57,92
Sub-total 1				622,88
2. EQUIPAMENTOS				
2.2 - Caminhão caçamba (transporte composto de lixo e cavaco)	6	h	11,70	70,20
2.3 - Momento extraordinário de transporte	316	km	1,17	369,72
2.4 - Trator MF 265 com descupinizador	8	h	12,41	99,28
Sub-total 2				539,20
3. MATERIAL				
3.1 - Calcário	125	kg	0,15	18,75
3.2 - Adubo químico 4-14-8	156	kg	0,66	102,96
3.3 - Micronutrientes (FTE)	13	kg	1,36	17,68
3.4 - Composto de lixo urbano (fornecido pela Belacap)	38	m ³	0,00	0,00
3.7 - Mudras arbóreas do cerrado (de 51 a 100 cm)	625	un	2,39	1.493,75
3.8 - Tutores de 1,5 m	318	un	1,50	477,00
3.9 - Isca formicida	4	kg	5,00	20,00
Sub-total 3				2.130,14
4. TOTAL GERAL				R\$ 3.292,22

¹ Considera apenas os custos variáveis; manutenção por 24 meses; capina das corolas (2 por ano); não considera o retorno da camada superficial de solo estocado nem custos com vigilância; considera um terreno plano e sem necessidade de regularização; foi considerado apenas o custo do transporte do composto de lixo; considera o valor de 318 tutores de 1,5m divididos em 636 tutores de 0,75m.

² Valores em reais fornecidos pelo Serviço de Apropriação e Controle do Departamento de Parques e Jardins da Novacap, Brasília - DF, em novembro de 2005.

Tabela B.2. Custo de revegetação de 1 hectare de área minerada de cascalheira – Tratamento 2 (SNE + CM)¹

ESPECIFICAÇÃO DOS SERVIÇOS	Quant	Unid	Valor unit²	Valor total
1. MÃO DE OBRA				
1.1 - Serventes				
1.1.1 - Adubação e fechamento de 625 covas	16	h	8,56	136,96
1.1.3 - Plantio de 625 mudas	10	h	8,56	85,60
1.1.4 - Capina de 625 corolas	40	h	8,56	342,40
1.1.7 - Colocação do cavaco de madeira	16	h	8,56	136,96
1.2 - Encarregado	4	h	14,48	57,92
Sub-total 1				759,84
2. EQUIPAMENTOS				
2.2 - Caminhão caçamba (transporte composto de lixo e cavaco)	8	h	11,70	93,60
2.3 - Momento extraordinário de transporte	483	km	1,17	565,11
2.4 - Trator MF 265 com descupinizador	8	h	12,41	99,28
Sub-total 2				757,99
3. MATERIAL				
3.1 - Calcário	125	kg	0,15	18,75
3.2 - Adubo químico 4-14-8	156	kg	0,66	102,96
3.3 - Micronutrientes (FTE)	13	kg	1,36	17,68
3.4 - Composto de lixo urbano (fornecido pela Belacap)	38	m ³	0,00	0,00
3.5 - Cavaco de madeira (fornecido pela Novacap)	20	m ³	0,00	0,00
3.7 - Mudas arbóreas do cerrado (de 51 a 100 cm)	625	un	2,39	1.493,75
3.8 - Tutores de 1,5 m	318	un	1,50	477,00
3.9 - Isca formicida	4	kg	5,00	20,00
Sub-total 3				2.130,14
4. TOTAL GERAL				R\$ 3.647,97

¹ Considera apenas os custos variáveis; manutenção por 24 meses; capina das corolas (2 por ano); colocação de cobertura morta (cavaco de madeira); não considera o retorno da camada superficial de solo estocado nem custos com vigilância; considera um terreno plano e sem necessidade de regularização; foi considerado apenas o custo do transporte do composto de lixo e do cavaco de madeira; considera o valor de 318 tutores de 1,5m divididos em 636 tutores de 0,75m.

² Valores em reais fornecidos pelo Serviço de Apropriação e Controle do Departamento de Parques e Jardins da Novacap, Brasília - DF, em novembro de 2005.

Tabela B.3. Custo de revegetação de 1 hectare de área minerada de cascalheira – Tratamento 3 (SE + L – CM)¹

ESPECIFICAÇÃO DOS SERVIÇOS	Quant	Unid	Valor unit²	Valor total
1. MÃO DE OBRA				
1.1 - Serventes				
1.1.1 - Adubação e fechamento de 625 covas	16	h	8,56	136,96
1.1.2 - Adubação do substrato escarificado	32	h	8,56	273,92
1.1.3 - Plantio de 625 mudas	10	h	8,56	85,60
1.1.4 - Capina de 625 corolas	40	h	8,56	342,40
1.1.5 - Semeio do estilosantes (manual, a lanço)	4	h	8,56	34,24
1.1.6 - Roçagem do estilosantes com roçadeira costal	32	h	8,90	284,80
1.2 - Encarregado	4	h	14,48	57,92
Sub-total 1				1.215,84
2. EQUIPAMENTOS				
2.1 - Trator de esteira com escarificador	16	h	51,83	829,28
2.2 - Caminhão caçamba (transporte composto de lixo)	12	h	11,70	140,40
2.3 - Momento extraordinário de transporte	650	km	1,17	760,50
2.4 - Trator MF 265 com descupinizador	8	h	12,41	99,28
2.5 - Trator CBT com grade (incorporação dos adubos)	6	h	17,82	106,92
2.6 - Roçadeira à gasolina, costal	32	h	0,52	16,64
Sub-total 2				1.953,02
3. MATERIAL				
3.1 - Calcário	2125	kg	0,15	318,75
3.2 - Adubo químico 4-14-8	806	kg	0,66	532,13
3.3 - Micronutrientes (FTE)	213	kg	1,36	289,00
3.4 - Composto de lixo urbano (fornecido pela Belacap)	78	m ³	0,00	0,00
3.5 - Sementes de estilosantes	10	kg	29,50	295,00
3.6 - Mudas arbóreas do cerrado (de 51 a 100 cm)	625	un	2,39	1.493,75
3.7 - Tutores de 1,5 m	318	un	1,50	477,00
3.8 - Isca formicida	4	kg	5,00	20,00
Sub-total 3				3.425,63
4. TOTAL GERAL				R\$ 6.594,49

¹ Considera apenas os custos variáveis; manutenção por 24 meses; capina das corolas (2 por ano); plantio e roçagem (1 por ano) da camada herbácea rasteira; colocação de cobertura morta (cavaco de madeira); não considera o retorno da camada superficial de solo estocado nem custos com vigilância; considera um terreno plano e sem necessidade de regularização; foi considerado apenas o custo do transporte do composto de lixo e do cavaco de madeira; considera o valor de 318 tutores de 1,5m divididos em 636 tutores de 0,75m.

² Valores em reais fornecidos pelo Serviço de Apropriação e Controle do Departamento de Parques e Jardins da Novacap, Brasília - DF, em novembro de 2005.

Tabela B.4. Custo de revegetação de 1 hectare de área minerada de cascalheira – Tratamento 4 (SE + L + CM)¹

ESPECIFICAÇÃO DOS SERVIÇOS				
	Quant	Unid	Valor unit²	Valor total
1. MÃO DE OBRA				
1.1 - Serventes				
1.1.1 - Adubação e fechamento de 625 covas	16	h	8,56	136,96
1.1.2 - Adubação do substrato escarificado	32	h	8,56	273,92
1.1.3 - Plantio de 625 mudas	10	h	8,56	85,60
1.1.4 - Capina de 625 corolas	40	h	8,56	342,40
1.1.5 - Semeio do estilosantes (manual, a lanço)	4	h	8,56	34,24
1.1.6 - Roçagem do estilosantes com roçadeira costal	32	h	8,90	284,80
1.1.7 - Colocação do cavaco de madeira	16	h	8,56	136,96
1.2 - Encarregado	4	h	14,48	57,92
Sub-total 1				1.352,80
2. EQUIPAMENTOS				
2.1 - Trator de esteira com escarificador	16	h	51,83	829,28
2.2 - Caminhão caçamba (transporte composto de lixo e cavaco)	16	h	11,70	187,20
2.3 - Momento extraordinário de transporte	800	km	1,17	936,00
2.4 - Trator MF 265 com descupinizador	8	h	12,41	99,28
2.5 - Trator CBT com grade (incorporação dos adubos)	6	h	17,82	106,92
2.6 - Roçadeira à gasolina, costal	32	h	0,52	16,64
Sub-total 2				2.175,32
3. MATERIAL				
3.1 - Calcário	2125	kg	0,15	318,75
3.2 - Adubo químico 4-14-8	806	kg	0,66	532,13
3.3 - Micronutrientes (FTE)	213	kg	1,36	289,00
3.4 - Composto de lixo urbano (fornecido pela Belacap)	78	m ³	0,00	0,00
3.5 - Cavaco de madeira (fornecido pela Novacap)	20	m ³	0,00	0,00
3.6 - Sementes de estilosantes	10	kg	29,50	295,00
3.7 - Mudas arbóreas do cerrado (de 51 a 100 cm)	625	un	2,39	1.493,75
3.8 - Tutores de 1,5 m	318	un	1,50	477,00
3.9 - Isca formicida	4	kg	5,00	20,00
Sub-total 3				3.425,63
4. TOTAL GERAL				R\$ 6.953,75

¹ Considera apenas os custos variáveis; manutenção por 24 meses; capina das corolas (2 por ano); plantio e roçagem (1 por ano) da camada herbácea rasteira; colocação de cobertura morta (cavaco de madeira); não considera o retorno da camada superficial de solo estocado nem custos com vigilância; considera um terreno plano e sem necessidade de regularização; foi considerado apenas o custo do transporte do composto de lixo e do cavaco de madeira; considera o valor de 318 tutores de 1,5m divididos em 636 tutores de 0,75m.

² Valores em reais fornecidos pelo Serviço de Apropriação e Controle do Departamento de Parques e Jardins da Novacap, Brasília - DF, em novembro de 2005.